

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2002年 9月25日

出 願 番 号

Application Number:

特願2002-278326

[ST.10/C]:

[JP2002-278326]

出 願 人

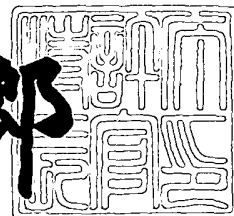
Applicant(s):

株式会社日立製作所

2003年 5月13日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

太田 信一郎



出証番号 出証特2003-3035576

【書類名】 特許願

【整理番号】 K02012831A

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G11B 5/39

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県小田原市国府津 2 8 8 0 番地 株式会社日立製作所 ストレージ事業部内

【氏名】 小島 修一

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県小田原市国府津 2 8 8 0 番地 株式会社日立製作所 ストレージ事業部内

【氏名】 淡河 紀宏

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県小田原市国府津 2 8 8 0 番地 株式会社日立製作所 ストレージ事業部内

【氏名】 岡崎 幸司

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県小田原市国府津 2 8 8 0 番地 株式会社日立製作所 ストレージ事業部内

【氏名】 柳沢 泰伸

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県小田原市国府津 2 8 8 0 番地 株式会社日立製作所 ストレージ事業部内

【氏名】 森永 諭

【特許出願人】

【識別番号】 000005108

【氏名又は名称】 株式会社日立製作所

【代理人】

【識別番号】 100075096

【弁理士】

【氏名又は名称】 作田 康夫

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 013088

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 磁気抵抗効果センサー及び磁気抵抗効果型ヘッド及びその製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

磁気抵抗効果積層体の下地層と、反強磁性層と、該反強磁性層に接触して形成され反強磁性結合磁界によって磁化方向が固定されている固定層と、該固定層に接触して形成された非磁性層と、該非磁性層に接触して形成された自由層と、該自由層の磁化方向を制御し該自由層の磁性磁区状態の制御を行うための磁区制御膜と、前記反強磁性層、固定層、非磁性層及び自由層の積層体に電流を供給する一対の電極膜を有している磁気抵抗効果センサーであって、

前記磁区制御膜が前記自由層の端部近傍に位置し、

前記磁区制御膜の下に形成される下地膜と、

前記下地膜の下に形成され、前記下地膜の結晶状態を制御するアモルファス金属膜層と、

を有することを特徴とする磁気抵抗効果センサー。

【請求項 2】

磁気抵抗効果積層体の下地層と、反強磁性層と固定層と非磁性層と自由層とを有する磁気抵抗効果積層体と、磁区制御膜と、前記磁気抵抗効果積層体に電流を供給する一対の電極膜を有する磁気抵抗効果センサーであって、

前記磁区制御膜の上面と下面の中心位置が、前記自由層の上面と下面の範囲内に位置し、

前記磁区制御膜の下に形成される下地膜と、

前記下地膜の下に形成され、前記下地膜の結晶状態を制御するアモルファス金属膜層と、

を有することを特徴とする磁気抵抗効果センサー。

【請求項 3】

磁気抵抗効果積層体の下地層と、反強磁性層と固定層と非磁性層と自由層とを有する磁気抵抗効果積層体と、磁区制御膜と、前記磁気抵抗効果積層体に電流を

供給する一対の電極膜を有する磁気抵抗効果センサーであって、

前記自由層の上面と下面の中心位置が、前記磁区制御膜の端部近傍の上面と下面の範囲内に位置し、

前記磁区制御膜の下に形成される下地膜と、

前記下地膜の下に形成され、前記下地膜の結晶状態を制御するアモルファス金属膜層と、

を有することを特徴とする磁気抵抗効果センサー。

【請求項 4】

請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 つに記載の磁気抵抗効果センサーにおいて、

前記磁気抵抗効果積層体は、下層から上層へ、前記下地層、前記反強磁性層、前記固定層、前記非磁性層、前記自由層、保護膜層の順に形成されていることを特徴とする磁気抵抗効果センサー。

【請求項 5】

請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 つに記載の磁気抵抗効果センサーにおいて、

前記磁気抵抗効果積層体は、下層から上層へ、前記下地層、前記反強磁性層、前記固定層、前記非磁性層、前記自由層、前記上層の非磁性層、前記上層の固定層、前記上層の反強磁性層、保護膜層の順に形成されていることを特徴とする磁気抵抗効果センサー。

【請求項 6】

請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 つに記載の磁気抵抗効果センサーにおいて、

前記磁気抵抗効果積層体は、下層から上層へ、前記下地層、前記自由層、前記上層の非磁性層、前記上層の固定層、前記上層の反強磁性層、保護膜層の順に形成されていることを特徴とする磁気抵抗効果センサー。

【請求項 7】

請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 つに記載の磁気抵抗効果センサーにおいて、

前記アモルファス金属膜層は、前記磁気抵抗効果積層体の下地層の下面から前記非磁性層の上面の範囲内におけるいずれかの面上に形成されていることを特徴とする磁気抵抗効果センサー。

【請求項 8】

請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 つに記載の磁気抵抗効果センサーにおいて、

前記自由層の下面と前記磁区制御膜の下面とが同一面にあり、前記磁区制御膜のバイアス磁界が主に前記自由層に印加される構造であることを特徴とする磁気抵抗効果センサー。

【請求項 9】

請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 つに記載の磁気抵抗効果センサーにおいて、

前記自由層の膜厚／前記磁区制御膜の自由層近傍の膜厚が、0.75～4であることを特徴とする磁気抵抗効果センサー。

【請求項 10】

請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 つに記載の磁気抵抗効果センサーにおいて、

前記自由層の端部の傾斜角が 30 度以上、望ましくは 45 度以上で在ることを特徴とする磁気抵抗効果センサー。

【請求項 11】

請求項 1 乃至 10 のいずれか 1 つに記載の磁気抵抗効果センサーにおいて、

前記磁区制御膜が Co 合金膜で形成されており、前記磁区制御膜の下部に設けられる前記下地膜が前記磁区制御膜の結晶状態を制御しており、前記アモルファス金属膜層が前記下地膜の結晶状態を制御していることを特徴とする磁気抵抗効果センサー。

【請求項 12】

請求項 1 乃至 10 のいずれか 1 つに記載の磁気抵抗効果センサーにおいて、

前記磁区制御膜が Co 合金金属膜で形成されており、前記下地膜は Cr もしくは Cr 合金膜で構成されており、前記アモルファス金属膜層は Ni 系合金もしくは Co 系合金膜によって構成されていることを特徴とする磁気抵抗効果センサー。

【請求項 13】

請求項 1 乃至 10 のいずれか 1 つに記載の磁気抵抗効果センサーにおいて、

前記アモルファス金属膜層が Ni 系合金膜もしくは Co 系合金膜よりなり、P, Cr, Zr, Nb, Hf, In, Mo, Ti, V, Ta, W, Ru, Rh, Pd, Pt の元素から選ばれた少なくとも 1 種類以上の元素が添加されたアモルファス薄膜であることを特徴とする磁気抵抗効果センサー。

【請求項 1 4】

請求項 8 乃至 1 3 のいずれか 1 つに記載の磁気抵抗効果センサーにおいて、  
前記アモルファス金属膜層の表面が所望の程度に酸化していることを特徴とする磁気抵抗効果センサー。

【請求項 1 5】

請求項 8 乃至 1 3 のいずれか 1 つに記載の磁気抵抗効果センサーにおいて、  
前記下地膜がCrもしくはCr合金であり、かつ体心立方格子（BCC）多結晶薄膜によって構成されており、その形成される面に対する多結晶配向は、特定の配向方位を持たない等方ランダムな結晶配向となっていることを特徴とする磁気抵抗効果センサー。

【請求項 1 6】

請求項 8 乃至 1 3 のいずれか 1 つに記載の磁気抵抗効果センサーにおいて、  
前記磁区制御膜はCo合金よりなっており、かつ六方晶格子（HCP）を主に含む多結晶薄膜によって構成されており、その多結晶薄膜の結晶配向は、特定の配向方位を持たない等方ランダムな結晶配向となっていることを特徴とする磁気抵抗効果センサー。

【請求項 1 7】

請求項 1 6 に記載の磁気抵抗効果センサーにおいて、  
前記磁区制御膜の多結晶薄膜の平均結晶粒径は、5 ～ 2 0 nmであることを特徴とする磁気抵抗効果センサー。

【請求項 1 8】

請求項 8 乃至 1 3 のいずれか 1 つに記載の磁気抵抗効果センサーにおいて、  
前記磁区制御膜は、Co合金膜によりなっており、第一添加元素として組成 5 ～ 2 0 at%のPt元素を含み、前記磁区制御膜の保持力は1K0e以上、飽和磁束密度は1 T以上の磁性薄膜であることを特徴とする磁気抵抗効果センサー。

【請求項 1 9】

請求項 8 乃至 1 3 のいずれか 1 つに記載の磁気抵抗効果センサーにおいて、  
前記下地膜の膜厚は、5 nm以下であり、かつ前記アモルファス金属膜層の膜厚は5 nm以下であり、前記自由層と前記磁区制御膜との隙間が1 0 nm以下であるこ

とを特徴とする磁気抵抗効果センサー。

【請求項 2 0】

請求項 1 乃至 1 9 のいずれか 1 つに記載の磁気抵抗効果センサーを用いて構成したことを特徴とする磁気抵抗効果型ヘッド。

【請求項 2 1】

磁気抵抗効果センサーの製造方法において、

- 1) 基板上に該反強磁性層、該固定層、該非磁性層、該自由層を含む多層膜を連続して一括し真空中で形成する工程と、
  - 2) 前期連続膜上にトラック幅を形成するためのリフトオフ用レジストを塗布する工程と、
  - 3) 上記リフトオフ用レジストの塗布されていない領域を、該非磁性層まで、もしくは、該固定層まで、もしくは、該反強磁性層まで、もしくは該反強磁性層の中間層まで、イオンビーム等を利用し再現良く除去する工程と、
  - 4) 上記多層膜の一部を除去された領域に、該アモルファス層、及び該下地膜層、及び、該磁区制御膜層、及び、該電極膜層を形成する工程と、
  - 5) 上記リフトオフ用レジストを除去する工程と、
- を含む事を特徴とする磁気抵抗効果センサーの製造方法。

【請求項 2 2】

請求項 2 1 に記載の磁気抵抗効果センサーの製造方法において、

前記アモルファス金属膜層、前記アモルファス金属膜層の表面酸化層、前記下地膜、前記磁区制御膜、及び前記電極膜を形成する工程が同一真空層内で連続して実行されることを特徴とする磁気抵抗効果センサーの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は磁気抵抗効果を利用して磁気記録媒体から記録を読み取る、磁気抵抗効果センサー及びその磁気抵抗効果センサーを含んで構成される磁気抵抗効果ヘッドに関するものである。また本発明は、特には、高記録密度記録読み出しが可



能なハードディスクドライブに使用される磁気抵抗効果ヘッドに関するものであり、高速高密度記録時の読み出し信号の高感度化と、高い信号再現性を実現し高品質化を行うための磁気抵抗効果センサーの構造及びその製造方法に関するものである。また特には、本発明は、磁気抵抗効果センサーの高感度化を行い、かつ高い信号再現性を実現するための磁気抵抗効果センサー内に配置される磁区制御膜の構造と製造方法に関するものであり、この発明により、信号品質及び信頼性の高い磁気ヘッドが供給でき。その磁気ヘッドを使用する事により誤謬率の低い高性能のハードディスクドライブ装置が供給されるものである。

## 【 0 0 0 2 】

## 【従来の技術】

ハードディスクドライブ (HDD) に使用される磁気ヘッドは、磁気記録媒体 (ハードディスク) に磁化信号として情報を記録する書き込みヘッドと、磁気記録媒体に磁化信号として記録された信号を読み取る再生ヘッド (センサー) から構成されている。電気信号は書き込みヘッドによって磁化情報に変換され、磁気記録媒体に記録され、記録された磁化情報は、再生ヘッドによって電気信号に変換され、取り出される。近年、再生ヘッドは磁気抵抗効果を利用して磁化情報を読み取る磁気抵抗効果ヘッドが開発され、より微弱な書き込み磁化情報を読み込み可能となり、記録密度の大幅な向上が達成され情報産業に大きくに寄与している。

## 【 0 0 0 3 】

磁気抵抗効果ヘッドのセンサー部は、複数の磁性薄膜及び非磁性薄膜からなる磁気抵抗効果積層体から構成されている。磁気抵抗効果ヘッドの磁気抵抗効果積層体の構造にはいくつかの種類があり、その用いる磁気抵抗の原理からAMRヘッド、GMRヘッドTMRヘッドなどに分類される。それぞれAMR効果 (磁気抵抗効果)、GMR効果 (巨大磁気抵抗効果)、TMR効果 (トンネル磁気抵抗効果) を用いて、磁気記録媒体から再生ヘッドに入ってくる入力磁界情報を電圧変化として取り出している。

## 【 0 0 0 4 】

磁気抵抗効果ヘッドの磁気抵抗効果積層体は、磁気記録媒体からの入力情報磁

界を受け磁化回転する自由層と呼ばれる磁性層と、反強磁性体の結合磁界により磁化方向が固定された固定層とそれらに挟まれた非磁性層によって主に構成されている。固定層の磁化方向と自由層の磁化方向との関係の変化に対応し、磁気抵抗効果積層体の電気抵抗が変化するため、この電気抵抗積層体に電流を流しておくと、自由層の磁化回転方向に対応した電圧変化が発生し、その電圧変化を観察することにより、自由層に与えられた磁化情報の方向が判別できる。このように磁気抵抗効果ヘッドの再生ヘッド部は、磁気抵抗効果膜積層体の磁気抵抗効果を利用して磁気センサーとして機能させる構造となっているものである。

#### 【0005】

この磁気抵抗効果積層体内の固定層の磁化方向は、入力信号磁界やその他外部からの磁界によって変化すると出力信号強度の低下及び信号出力の変動を招くため、反強磁性体の結合磁界により強く固定されていなければならない。この為に、反強磁性膜としては、結合磁界の強い、MnIr合金薄膜やMnPt合金薄膜が選ばれ、固定層強磁性膜としては、結合磁界の強い材料のCo合金薄膜もしくはその積層薄膜が選ばれ、薄膜形成条件としても結合磁界が大きくなるような条件が選択される。一方、自由層の磁化は、微弱な外部入力磁界に敏感に反応するとともに、外部入力磁界が正、負、ゼロに対応しその磁化曲線の再現性が高い必要がある。この為、自由層としては、一般にはソフト磁性に優れるNiFe-Parmalloy合金薄膜やCo系合金ソフト磁性膜、及びそれらの積層薄膜を使用することが多い。同種の目的からこの磁気抵抗積層体の材料や層構造、その製造条件方法の検討改良がなされている。

一方、自由層に使用されるソフト磁性材料であるParmalloy薄膜やCo合金薄膜はシート状の形状で使用され、外部入力磁界が存在しないときでも安定した磁化状態とするために誘導磁気異方性を付与されて使用される。しかしながら、これらのソフト磁性薄膜は、単純な磁区構造を持っていないことが知られており、その膜厚やシート状の形状に依存した磁区構造 (Magnetic Domain Structure) を形成することが判っている。特にシート形状の端部では還流した磁区構造が発生し磁化方向に乱れが発生することが知られていると伴に、これらの乱れた磁区構造が外部磁界によって変化する。この磁区構造の変化に起因し発生するノイズ

を、バルクハウゼンノイズと呼び一般に知られている。この種のノイズを避けるためには自由層に還流した磁区を発生させない様に、シート状の自由層に一樣なバイアス磁界を印加して単葉な磁区構造にしなければならない。この目的のために、永久磁石膜を磁気抵抗効果積層体の端部に配置し、バイアス磁界を発生させ、バイアス磁界を自由層に一樣に印加する様にする。この方式はハードバイアス方式として知られ、実用に給されている。また自由層上に反強磁性膜を形成し、自由層と反強磁性膜の交換結合を利用してバイアス磁界を印加するイクスチャンジバイアス方式が知られている。商業用に給されているのは、ハードバイアス方式のものである。

## 【 0 0 0 6 】

ハードバイアス方式のものは、例えば特開平3-125311に示されているように、自由層の両端に磁石膜からなる磁区制御膜を配置される。イクスチャンジバイアス方式は、例えば米国特許第4663685号に示されているように、長い自由層の両端に反強磁性膜を積層し、反強磁性膜と自由層との交換結合を用いる方法である。

## 【 0 0 0 7 】

従って一般に磁気抵抗効果センサーは、固定層もしくは自由層もしくは固定層と自由層とがシート状に切断された磁気抵抗積層体と、シート状に切断された自由層端部に永久磁石膜が配置され磁区制御される磁区制御膜と（ハードバイアス方式）、もしくは、自由層上に反強磁性体を配置した方式の磁区制御膜と（イクスチャンジバイアス方式）、磁気抵抗積層体へ電流を流す電極膜層とによって主に構成される。

## 【 0 0 0 8 】

ハードバイアス方式の磁気抵抗効果センサーは、磁気抵抗積層体を形成するための積層膜を形成する工程と、磁気抵抗積層膜をシート状に形成するために寸法の良く定義されたシート状のレジストを塗布する工程と、磁気抵抗積層膜をシート状に加工する工程と、シート状に加工された自由層端部に磁区制御膜を形成する工程と、電極膜層を形成する工程と、形状を形成するために塗布されたレジストを除去する工程とによって製造される。イクスチャンジバイアス方式の磁気抵

抗センサーの場合、たとえば、磁気抵抗積層体を形成するための積層膜を形成する工程と、自由層表面に反強磁性膜を形成する工程と、トラック幅を形成するために寸法の良く定義されたシート状のレジストを塗布する工程と、電極膜層を形成する工程と、形状を形成するために塗布されたレジストを除去する工程と、反強磁性層のトラック幅に対応する部分を除去する工程と、保護膜を形成する工程とによって製造される。イクスチャンジバイアス方式の場合、上記プロセスでは自由層へ与える交換結合力が弱く、十分にトラック幅を決めるまでにいたっていない。現状より強い結合磁界を与える材料と構造と製造方法の開発が必要な状況となっている。従って、現状商業用に適用されているのはハードバイアス方式の磁気抵抗効果センサーである。

## 【 0 0 0 9 】

ハードバイアス方式の磁区制御膜に使用される永久磁石膜は、Co合金系の材料が使用され、Pt元素が添加されたものが多く使用されている。Co系の合金薄膜は、結晶構造として六方最密晶（HCP）の結晶構造を持ち、そのC軸方向へ強い結晶磁気異方性を持つことが良く知られており、高い保磁力を示す良好な永久磁石が容易に得られる。さらにCo系合金にPt元素を添加すると結晶磁気異方性が増加し、より高い保磁力を示すようになる事が知られている。また更には、Co合金薄膜の下地としてCrもしくはCr合金下地膜を使用すると、ヘテロエピタキシー成長機構により、Co合金薄膜の結晶方位を制御することが可能となり、より高い残留磁束密度と保磁力と角型比を持つ永久磁石膜が容易に得られることが知られている。これらの技術は磁気記録媒体として発展させられた技術である。

## 【 0 0 1 0 】

現在使用されているものはCoPt系合金／Cr下地膜の積層構造の磁区制御膜であり、その示す保磁力は約20000e角型比は0.8以上のものである。また材料の改良や製造条件の最適化により30000e以上の保磁力まで得られるようなものである。磁区制御膜の永久磁石膜は、信号磁界や外部入力磁界によって磁化状態が変化してはいけないため高い保磁力が必要とされ、入力磁界が約600～8000eと推定されるため少なくともその1.5倍の12000eの保磁力が必要とされ则认为られる。またその磁化曲線の角型比や保磁力角型比は高い値が要求され则认为

えられる。磁化曲線の角型比が低下すると残留磁化量が低下し、所望のバイアス磁界を効率よく自由層へ与えることが出来ない。自由層に与えられるバイアス磁界は、角型比を高く保ちながら、永久磁石膜の飽和磁束密度を変化させることと永久磁石膜の膜厚を変化させることによって調整することが出来、最適化が図られなければならない。

#### 【 0 0 1 1 】

一般に、磁気抵抗効果積層体の内の自由層の磁区制御を行う為には在るバイアス磁界より強い磁界を自由層へ印加しなければならないが、バイアス磁界が強すぎると自由層の端部の強磁性体は、信号磁界が入力されても動かなくなるため、出力が減少する現象が発生する。この理由から、磁区制御膜の永久磁石膜の残留磁束密度や膜厚は最適化する必要がある。一般に残留磁束密度は飽和磁束密度を変更することにより、すなわちCo系合金薄膜の合金組成を最適化することにより調整される。またその膜厚は、形成条件の変更と形成時間の変更により容易に調整可能である。

#### 【 0 0 1 2 】

図 3 によって、従来構造のハードバイアス方式の磁気抵抗効果型ヘッドのセンサー構造を説明する。図 3 は、図 1 5 の磁気ヘッドの磁気抵抗効果センサー部をその浮上面の断面から表した模式図である。磁気抵抗効果積層膜は、下部シールド 1 上に形成された下部ギャップ層 2 上に形成される。下部ギャップ層 2 は絶縁性の高い材料、多くは Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜で構成される。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ギャップ層 2 上に磁気抵抗効果積層体下地膜 3，反強磁性層 4，固定層 5，非磁性層 6，自由層 7，保護膜層 8 と順次形成された後、レジストが塗布され、ドライエッチングの手法を用いて磁気抵抗積層膜はシート状に加工される。この際、磁気抵抗積層膜はその下部まですなわち下部ギャップ層 2 までドライエッチングされる。トラック幅となる T<sub>w</sub> f 自由層幅はこの時、形成されるものである。その後、磁区制御膜下地膜 1 0 及び磁区制御膜 1 1，電極膜 1 2 と連続して形成され、レジストが剥離される。その後、上部ギャップ 1 3 膜及び上部シールド膜 1 4 が形成される。これらの、形成工程のうち、多層薄膜形成や、トラック幅を形成する方法は、ドライプロセスが採用され、薄膜形成は通常スパッタリングと呼ばれる手法により、またトラ

ック幅形成はイオンミリングの手法により形成される。またトラック幅を形成した後に磁区制御膜積層体 1 1 及び電極膜 1 2 を形成するときは、イオンビームスパッタ法を適用し、より指向性の強いスパッタ粒子を利用し形成することにより、磁区制御膜 1 1 の形状や付き回りを最適化する手法が適用されたりしている。

## 【 0 0 1 3 】

この製造方法で製造される磁気抵抗効果ヘッドのトラック幅は近年狭小化が進み、レジストの微細化技術や、自由層寸法を狭小化する技術が開発されている。たとえば特許文献 1 に示されている様にレジスト形状を電子ビームによって露光し形成する技術の適用や、磁区制御性を向上させるために、レジスト形状を工夫し自由層端部角度 ( $\alpha$ ) を向上させ 4 5 度以上としたり、自由層と磁区制御膜との隙間を小さくする工夫が施されている。

## 【特許文献 1】

特開2002-170211号公報

## 【特許文献 2】

特開2002-151755号公報

## 【 0 0 1 4 】

## 【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、近年より高記録密度化が進む中で、自由層幅寸法の狭小化が要求され、その寸法は200nmから100nmまたそれ以下となった時に、従来の磁区制御膜積層体の構造では限界があり、また製造方法の改良等では不十分であることが明らかとなった。

## （出力の低下、不感帯の生成、出力変動の問題）

一般にリードヘッド出力強度は、そのトラック幅とほぼリニアの関係があり、トラック幅の寸法を狭めると狭めた程度に対応し出力低下を発生する。ところがトラック幅が 3 0 0 nm 程度以下から、出力低下はトラック幅の狭小化以上に出力低下を発生するのは良く知られた事実である。これは、磁区制御膜によって印加された強いバイアス磁界により自由層端部の自由層に、磁化回転の発生しない不感帯（デッドエリア）が発生し磁化回転を起こさず、出力に寄与しない部分が発生する為である。種種の実験及びシミュレーションよりこの不感帯（デッドエリア）

の寸法は、トラック幅に換算し約60～80nm程度もあるものであり、この為、トラック幅が300nmとときは、20%程度の出力低下であったものが、トラック幅が100nmのときは60%も出力低下を起こし、出力がほとんど得られないものである。

## 【0015】

この不感帯（デッドエリア）のトラック幅寸法は、磁区制御膜が発生するバイアス磁界強度に依存する事は良く知られており、バイアス磁界を減少させると出力は向上する。しかしながら、バイアス磁界を減少させると自由層磁区制御が不十分な為出力波形の再現性に乏しく、出力波形の変動が発生するとともに、不規則なバルクハウズノイズが発生したり、ライトヘッド動作後に不規則ノイズが増大するような現象が発生する。この種のノイズが発生すると、磁気記録情報の読み出し誤謬率が増大し、ヘッドとして使いものにならないものとなる。

## 【0016】

従来技術では、バイアス磁界は磁区制御膜の磁気抵抗効果積層体端部での形状と残留磁化量（ $Brt$ ：残留磁束密度 $B_r$ と磁区制御膜膜厚 $t$ の積）に大きく依存すると考えられる。この観点からバイアス磁界を最適化し、ノイズや出力波形の変動を抑える為に、バイアス磁界を最適化する方法として、磁気抵抗効果積層体端部の端部角度を急峻化する事と、磁区制御膜として使用するCo合金組成を調整し、Co合金薄膜の飽和磁束密度 $B_s$ を調整する事と、磁区制御膜として使用するCo合金薄膜の膜厚を調整する事、の3つを行い、残留磁化量（ $Brt$ ）を調整し、自由層に印加される実行的バイアス磁界を調整する事となる。

実験の結果、磁気抵抗効果積層体の端部角度が $60^\circ$ の時、磁区制御膜の残留磁束密度を高め、磁区制御膜の膜厚を薄膜化する事は、自由層へ印加されるバイアス磁界を強め、残留磁化量を小さくする事に効果があることが明確となったが、限界があることが明らかとなった。上記実験では、トラック幅100nmの自由層場合、磁区制御膜の残留磁化量（ $Brt$ ）が約25Tnm以下で出力波形の変動が発生するとともに、不規則なバルクハウズノイズが発生するものであった。その時の自由層の不感帯（デッドエリア）のトラック長は、60nmであり、それ以上の不感帯（デッドエリア）長を狭小化することが出来なかった。従ってこの方式で

は、バイアス磁界を十分最適化できずヘッド出力特性の向上には限界がある事が判った。

(形状の問題)

この原因としては、磁気抵抗効果積層体の端部に配置される磁区制御膜の形状の問題が挙げられる。磁区制御膜と自由層、固定層、シールド膜の各々の形状と位置関係、及び磁化状態の模式図を図4に示す。従来構造の図3に対応するものは図4の(c)であり、本発明の構造を示す図1、2は夫々図4の(b)(a)に対応するものである。

【0017】

磁区制御膜の残留磁化量を減らす方法として、磁区制御膜のCo合金薄膜の膜厚を薄くする方法が挙げられる。この時の磁区制御膜11と自由層7、固定層5の各々の形状と位置関係を図4(c)に示す。Co合金薄膜を薄膜化すると、磁気抵抗効果素子端部での傾斜部で、膜厚が薄くなるとともに、膜形状に段差が生じ、トラック幅方向へ磁化Hを向けると、傾斜斜面部で反磁界H<sub>d</sub>が発生してしまい、実効的なバイアス磁界が弱まってしまう。本来バイアス磁界は、自由層7のみに印加したいが、図4(c)の形状であると、固定層5やシールド層1へ磁界が分散印加されたものとなり、自由層に適切にバイアス磁界が印加される構造とは言いがたい。また磁気抵抗積層体の端部傾斜部に形成される磁区制御膜の形状は、磁化方向から傾斜した薄膜となり、その内側と外側には正と負の強い磁荷が発生し、その為斜面部強磁性体内部に反磁界H<sub>d</sub>が生成するものと考えられる。この反磁界は本来発生させたいバイアス磁界を弱めることとなり、適切な磁界が自由層7へ印加することが出来ない。また磁気抵抗積層体の端部傾斜部の傾斜角度 $\alpha$ は磁荷密度を弱める働きをして、バイアス磁界を弱めるとともに分散させることとなる。

【0018】

さらに、この磁区制御膜はリフトオフレジストを使用し形成されるが、一般に磁区制御膜11の先端の方の部分の膜厚が薄く形成されるものであり、薄く形成された先端部が自由層の上面覆い被さった形状となる。Co合金磁性薄膜がその膜厚が数nmと薄くなった場合、その磁気的特性は低下するとともに熱的に不安



定なものとなる事が知られている。従って、磁区制御膜 1 1 の先端部が、自由層 7 へ与えるバイアス磁界を乱す働きもしていると考えられる。

#### 【0 0 1 9】

本来、磁区制御バイアス磁界は自由層 7 へ印加すべきものであり、自由層と高さ位置をそろえた磁性膜により、より強い磁束密度の磁界を自由層端部へ印加すべきものと考えられる。その場合、図 4 b)、すなわち図 1 に示す構造の様に、自由層 7 と磁区制御膜 1 1 の高さ位置をそろえた構造にすると、より適切にバイアス磁界が自由層 7 に印加されるものと想定された。

#### (磁気特性の問題)

しかしながら、磁区制御膜 1 1 として使用している Cr 下地膜を有する Co 合金磁性薄膜を、磁気抵抗効果積層体の固定層として使用している MnPt 合金薄膜上や MnIr 合金薄膜上、また CoFe や NiFe 上に形成すると、その磁気特性は低下し、自由層 7 へバイアス磁界を印加できるものではなかった。すなわち、固定層 5 として使用されている材料の薄膜上に Co 合金薄膜（磁区制御膜 1 1）/Cr 下地膜（磁区制御膜下地層 1 0）を形成すると、その磁化曲線の保磁力及び、角型比は低下し、残留磁化量を維持することの出来ない特性の薄膜となってしまう。種々の検討の結果、この原因は磁気抵抗効果積層体を構成する材料の結晶系と、磁気特性が良好な Co 合金薄膜/Cr 下地膜（磁区制御膜 1 1 / 磁区制御膜下地層 1 0）の結晶系とのフィッティングが悪いため、磁気抵抗効果積層体を構成する材料の結晶系上に Co 合金薄膜/Cr 下地膜を形成するとヘテロエピタキシー機構により、Co 合金薄膜/Cr 下地膜の薄膜の磁気特性が低下してしまう結晶構造となってしまうためである。

#### 【0 0 2 0】

磁気抵抗効果積層体のほとんどの層は面心立方構造（fcc）系の多結晶薄膜であるのに対し、磁区制御層として使用している Cr 下地膜（磁区制御膜下地層 1 0）は体心立方構造（bcc）の多結晶薄膜、Co 合金磁性膜（磁区制御膜 1 1）は六方最密構造（hcp）の多結晶薄膜である。Co 合金磁性膜の下地に使用する Cr 下地膜（1 0）は、ヘテロエピタキシー結晶成長機構により Co 合金磁性膜の六方晶の結晶配向性と結晶内部ひずみを制御するために使用され、その結

果磁気特性として高い保磁力と高い角型比を持ったC o合金磁性膜が得られる。一方、面心立方格子の磁気抵抗効果素子体上にC r下地膜及びC o磁性膜を形成すると、ヘテロエピタキシー結晶成長機構が磁気抵抗効果積層体膜とC r下地膜間に働き、その結果、C r下地膜及びC o合金磁性膜の結晶配向性と格子ひずみに悪影響を与え、磁気特性が劣化する。このために磁気抵抗効果積層体を構成する薄膜上では、C o合金薄膜/C r下地膜の薄膜は良好な磁気特性を示しにくいということが明らかとなった。

#### 【0021】

一方、磁気抵抗効果積層体の結晶構造は、より良い面心立方系（f c c）の結晶構造にすると、その磁気抵抗効果特性は向上する。その為、磁気抵抗効果積層体の結晶構造を変更することは出来ないことが判明した。

#### 【0022】

この磁気抵抗効果積層体を構成する薄膜上ではCr下地膜上のCo合金薄膜は良好な磁気特性を得られないということは、従来構造においては、磁気抵抗効果積層体端部のCo合金磁区制御膜の傾斜面上の部分ではその磁気特性が低下している結晶状態になっていることも示している。この磁区制御膜の先端での特性劣化は、バイアス磁界の低下とバイアス磁界の乱れを誘起すると推定され、磁区制御膜特性の低下の一因となっていると考えられる。

#### 【0023】

この傾斜部での磁気特性の劣化の問題は、たとえば特許文献2に記述されているように、Cr下地膜を厚く構成し、自由層と磁区制御膜の高さ位置をそろえる方式としたとしても解決しない。またCr下地膜を厚く構成した場合は、磁気抵抗効果積層体の端部傾斜部での下地膜膜厚が厚くなり、自由層と磁区制御膜の隙間隔が広がってしまう問題も発生する。

#### 【0024】

従って、磁気抵抗効果積層体の自由層と磁区制御膜のC o合金薄膜の高さ位置を合せて形成しようとする、C o合金薄膜の結晶配向性が適正化できず、永久磁石膜としての磁気特性が低下してしまい、適切なバイアス磁界を自由層へ印加することができないことが判明した。

## 【 0 0 2 5 】

すなわち、従来技術では、磁区制御膜の磁気特性を維持しながら、自由層に適切な磁界を与えることは困難である。また自由層のみならず固定層にもバイアス磁界が印可することとなり、また厳密な考察から、固定層端部も磁区制御膜のバイアス磁界を受け、固定層の磁化方向が傾いており、不感帯を形成していることとなる。

## 【 0 0 2 6 】

本発明はハードバイアス方式を採用する磁気抵抗効果型センサーに於いて、磁区制御膜として使用しているC o合金磁性薄膜の結晶構造を制御し、かつ、C o合金磁性薄膜を磁気抵抗効果積層体端部に適切な形状で形成配置することにより、磁区制御膜から自由層へ適切な磁界を与える構造を提供することにある。その結果、自由層の不感帯を減少させる事が可能となり、信号出力を向上させ、さらにはバルクハウゼンノイズや出力変動、出力波形の非対称性を低減させ、高記録密度時の信号品質を向上させることが可能となる。

## 【 0 0 2 7 】

## 【課題を解決するための手段】

上記問題を解決するためには、磁区制御膜として使用されるC r系合金薄膜を形成する際に、磁気抵抗効果積層体を構成する薄膜の結晶構造の影響を受けない様にし、かつ、C r系合金薄膜の結晶構造を磁区制御膜として使用されるC o合金薄膜の結晶構造を最適化できるような層構成構造にすると良い。すなわち、磁気抵抗効果積層体を構成する薄膜の結晶構造の影響を受けないようにする為、磁気抵抗効果積層体薄膜上にアモルファス金属薄膜を形成し、そのアモルファス金属薄膜上にC r下地膜及びC o合金磁性膜を形成すると良い。さらに、そのアモルファス金属薄膜の材料を選択し、酸化プロセスを導入しアモルファス金属薄膜上の酸化度を調整し、アモルファス薄膜の表面エネルギーを調整することにより、C r下地合金薄膜の結晶配向性と結晶粒径を制御する構造と製造方法にすると良い。この結晶構造が制御されたC r下地合金薄膜上にC o合金磁性膜を形成すると、C o合金薄膜の結晶構造が最適化でき良好な磁気特性を得ることができる。この新たなアモルファス金属薄膜を磁気抵抗効果積層体と磁区制御膜の中間

に形成することにより、磁区制御膜の磁気特性が良好になるとともに、自由層と磁区制御膜の高さ位置を容易に合せこむことが出来る構造となり、自由層に印加される自由層バイアス磁界を局所化し最適化できる。

## 【 0 0 2 8 】

図 1 に本発明の構造の断面構造模式図を示す。従来構造（図 3）では、磁気抵抗効果積層体はイオンビームエッチングにより下部ギャップ層 2 までエッチングされた形状となっているが、本発明の構造では、自由層 7 と磁区制御膜 1 1 の高さ位置を合わせるために固定層 5 の反強磁性層 4 までしかエッチングされていない構造としている。イオンビームエッチングされた磁気抵抗効果積層体表面には、固定層 5 を構成する反強磁性体 4 の表面と斜面部に磁気抵抗効果積層体を構成する各々層、固定層強磁性層 5、非磁性層 6、自由層 7、保護膜層 8 の表面が露出しているが、その表面上に磁区制御アモルファス層 9 が形成される。その時、アモルファス薄膜は斜面部表面を覆う構造のほうが望ましい（図 1 下図参照）。その後、磁区制御下地層 1 0 と磁区制御層 1 1、電極膜層 1 2 が形成される構造となっている。またこの際、磁気抵抗効果積層体をイオンビームエッチングするときの深さを調整することにより、自由層 7 及び自由層端部に形成される磁区制御膜 1 1 の強磁性体層膜同士の中心位置高さ 19、20 を同一又は略同一の高さに調整するように構成する。また、磁区制御膜 1 1 の中心位置高さ 20 が自由層 7 の下面高さ位置 15 から上面高さ位置 16 の範囲内に入るように調整するか、又は、自由層 7 の中心位置高さ 19 が磁区制御膜 1 1 の下面高さ 17 と磁気抵抗効果積層体近傍のくぼみ部の上面高さ位置 18 の範囲内に入るように構成することでも良い。

## 【 0 0 2 9 】

図 2 は、基本的には同一の層構成順で製造可能な構造であるが、自由層 7 の下面位置 15 と磁区制御膜 1 1 の下面位置 17 とを合せこむ形状としており、さらには、自由層 7 の膜厚より、磁区制御膜 1 1 の膜厚を薄く構成することによりバイアス磁界をより局在化し、より適切なバイアス磁界を自由層 7 へ印加できる構造を示した図である。また、図 4（a）に対応した構造のものである。磁区制御膜 1 1 として使用する Co 合金磁性膜の組成を調整することにより、磁区制御膜 1 1 の飽和磁束密度  $B_s$  を自由層 7 として使用する材料より高め、磁区制御膜 1 1 の膜厚

を自由層 7 の膜厚より薄く構成したほうがより望ましい構造となる。自由層 7 としは NiFe 薄膜が使用されその飽和磁束密度  $B_s$  は 1 T である。たとえば、CoCrPt 合金薄膜の場合、Cr 及び Pt 組成を低減し約 1.7 T まで飽和磁束密度を高めることが可能となる。実験の結果、自由層 7 の膜厚の 0.75 倍の膜厚でも十分なバイアス磁界が得られる事が可能であることが判明した。この構造は、図 1 の構造に比較し、固定層強磁性体がイオンビームエッチング工程でエッチングされてなく、端部が露出しない構造となっている。従って磁区制御膜 11 から固定層 5 に印加されるバイアス磁界は少なく、自由層 7 により多くのバイアス磁界が印加できる構造であり、図 1 より好ましい構造のものである。

## 【 0 0 3 0 】

また、アモルファス薄膜 9 を磁区制御膜下地膜 10 の下面に形成すると、磁区制御膜 11 の Co 合金磁性膜と自由層端部との間に Cr 下地膜 10 とアモルファス薄膜 9 の膜厚をたした隙距離が発生する（図 4 に示す S.）。この隙間距離は、バイアス磁界を弱めると考えられるため、出来る限り小さく構成することが望ましい。その為 Cr 下地膜 10 とアモルファス膜の膜厚は、Co 合金磁性膜の磁気特性が良好である範囲で出来る限り薄く構成することが望ましい。

## 【 0 0 3 1 】

またこのアモルファス薄膜 9 は、金属合金薄膜から選ばなければならない。種々の検討の結果、このアモルファス金属薄膜は、Ni を母層としたもの、もしくは Co を母層とし添加元素を含有させる事により合金アモルファス薄膜にすると上記目的にかなう事が判明した。Cr 合金薄膜のアモルファス膜でも良い事は一部で判っている。Cr 下地膜のさらに下面にどのような薄膜を形成すれば、Co 合金薄膜が良好な磁気特性を示すかという技術課題は、薄膜磁気記録媒体のシード膜形成の中で発展した技術である。それによると、Cr 下地膜の下部に構成されるシード膜は、アモルファス構造のものでなければならないが、それだけでは不十分であり、材料の選択と表面エネルギーを調節する酸化プロセス等が必要であるとされている。もちろん薄膜作成時の形成条件にも依存する。本発明の場合、磁気抵抗効果積層体を構成する面心立方晶薄膜 (FCC: Face Centered Cubic) 上に、このアモルファス膜を形成しても、アモルファス構造を維持する材料と製造

方法が選択されなければならない。

#### 【 0 0 3 2 】

またこの磁区制御アモルファス膜 9 には電流が流れ温度が上昇する部位であるとの観点から、高融点金属より添加元素が選択されるのが望ましく、低抵抗金属より添加元素が選ばれることが望ましい。この磁区制御膜 1 1 の Co 合金薄膜と、磁気抵抗効果積層体間には、実際のセンサー構造となった場合、電流が流れ、電気抵抗が出来る限り低い必要がある。このために添加する元素は P, Cr, Zr, Nb, Hf, In, Mo, Ti, V, Ta, W, Ru, Rh, Pd, Pt 等から選ばれ、その一種もしくは 2 種以上を Ni へもしくは Co へ添加し実質的にアモルファス構造とする組成にすると良い。また望ましくは、アモルファス合金として Ni や Co 膜としての磁性を非磁性化する組成とするべきである。

#### 【 0 0 3 3 】

これらの Ni 金属や Co 金属に添加する元素の効果は、その表面エネルギーが変化するのみならず、形成後酸化プロセスを行った際に、酸素の表面へ吸着する原子に選択性が発生する為、Cr 合金下地膜の結晶成長する際の初期成長層の形成により影響を及ぼし Cr 下地膜 10 の結晶構造をより強く変化させる働きをすることと推定される。アモルファス金属表面を酸化した表面以外の多結晶薄膜の系で、Cr 合金多結晶薄膜の結晶成長方位を制御するような結晶系薄膜は、現状知られていない。この理由は Cr 結晶の面間隔が、他の多くの結晶材料の面間隔よりも小さい為であると推定されるが、まだ定かではない。

#### 【 0 0 3 4 】

上記アモルファス合金薄膜を新規導入した場合の結晶配向面の関係を模式的に図 6 に示す。一般に Cr 合金薄膜下地膜と Co 合金薄膜との結晶配向性は、ヘテロエピタキシー結晶成長機構により、配向面関係に強い相関がある。Cr 合金膜は体心立方晶 (BCC: Body Center Cubic) の結晶構造をとり、その最稠密面である Cr (110) 配向薄膜と Cr (100) 配向薄膜とが知られている。その Cr (110) 配向薄膜上に Co 合金薄膜を形成すると、Co (10.0) Co (00.1) の混晶配向する場合、Co (10.0) Co (00.1) Co (11.0) の混晶配向する場合、Co (00.2) 配向する場合とが知られており、膜形成条件によって変化する。Cr (100) 配向薄膜上に Co 合金薄膜

を成膜すると、Co (11.0) 配向する事が知られている。

### 【 0 0 3 5 】

図 6 の StateA2, A3 は Cr (1 1 0) 配向面に Co (00.1) 配向した状態であり Co 合金薄膜の C 軸が膜面内に垂直に配向している場合である。磁気抵抗効果積層体のほとんどの面心立方構造 (f c c) 系の多結晶薄膜である層上では StateA2 の状態しか実現できない。図 6 の StateB は等方配向した Cr 下地膜上に等方配向した Co 合金薄膜の場合である。図 6 の StateC は Cr (100) 配向面に Co (11.0) 面が配向した状態であり Co 合金薄膜の C 軸が膜面内に平行に配向している場合である。Cr 下地膜の下部に設けられたアモルファス合金の材料とその表面の酸化度合いを調整することにより、Cr 薄膜の配向が StateA3 StateB StateC と変化させることが出来、形成する前の下地状態によらず Co 合金薄膜の C 軸配向を膜面垂直方向から平行方向へ変化させることができる。

### 【 0 0 3 6 】

磁区制御膜 1 1 を自由層 7 とほぼ同一高さ位置に形成し、バイアス磁界を印加した自由層 7 の磁氣的動作を観察した結果、Co 合金磁性膜の結晶配向性は、六方最密多結晶構造の C 軸が膜面内に垂直に向いた構造 (図 6 : StateA3) では、保磁力が低下するとともに自由層 7 の磁氣的動作が不安定となり、かつ、六方最密多結晶構造の C 軸が膜面内に平行に向いた構造 (図 6 : StateC) では、自由層 7 の磁氣的動作が不安定となる事が判明した。すなわち磁区制御膜 1 1 の Co 合金磁性膜の C 軸結晶配向は、膜面内に対し特定の強い配向を持つと自由層 7 の磁氣的動作が不安定となる事が判明した。一般にバイアス磁界を強くするためには、C 軸を膜面内に配向させること (図 6 : StateC) が望ましいと考えられるが、磁区制御膜 1 1 の先端部の膜厚が薄い部分が磁気抵抗効果積層体の上部に存在し、その為、強い C 軸配向による磁化が最先端部の磁化状態のバラツキを発生させる為、自由層 7 に印加されるバイアス磁界のバラツキとなり、自由層 7 の磁氣的動作が不安定なものとなると推定される。このような理由で Co 合金磁性膜は、C 軸の特定の配向を持たない、等方多結晶薄膜が良く (図 6 : StateB) 、これは、Cr 下地膜が体心立方格子の Cr (110) 面でもなく Cr (100) 面でもなく、等方配向 (図 6 : StateB) にすると実現する。

## 【 0 0 3 7 】

本発明は、この様に、アモルファス合金薄膜 9 を使用することにより Cr 下地膜上の Co 合金薄膜（磁区制御膜 1 1）の結晶状態を制御調整できる事実の発見に依存している。結果として Co 合金薄膜は State B の等方配向もしくは無配向の状態がもっとも望ましいことが判明したものである。

## 【 0 0 3 8 】

図 1 に示された構造と上記製造プロセスを適用する事により、自由層 7 の高さ位置と磁区制御膜 1 1 の Co 合金磁性膜の高さ位置をそろえ、最適なバイアス磁界を印加可能となる。さらに、Co 合金磁性膜の組成を調整し、飽和磁束密度を高いものにして、強いバイアス磁界を局所化したものとし、自由層 7 に印加することも可能である。すなわち図 4 の（a）及び図 2 に示す様に、磁気抵抗積層体の端部はイオンビームエッチングで固定層強磁性体 5 の表面もしくは、固定層強磁性体 5 の中間までしかエッチングせず、固定層強磁性体膜 5 を残した形状とする。本来バイアス磁界は自由層 7 のみに印加すべきものであり、Co 合金磁性膜の飽和磁束密度を高め、自由層膜厚より薄い磁区制御膜 1 1 にすると自由層 7 のみにバイアス磁界を印加できる構造にすることが可能となり、より望ましい印加方式となる。バイアス磁界を局所化することにより、固定層 5 に印加される磁界強度を低減する事が出来、不感帯を形成する原因を除去可能となる。

## 【 0 0 3 9 】

このような構造は従来構造とほぼ同等の製造工程によって形成することが可能である。製造工程の概略断面模式図を図 5 に示す。磁気抵抗効果積層薄膜上にリフトオフ用フォトリソグが塗布され形成される（図 5（a））。このリソグは 2 段構造になっており、磁区制御膜 1 1 や電極膜 1 2 が形成された後でもフォトリソグの剥離除去が容易であるように、下部リソグ 21 の寸法幅は上部リソグ 22 より狭く構成されている。これにより、磁区制御膜 1 1 や電極膜 1 2 が成膜された後でも、リソグ上に形成された形成膜と磁気抵抗効果積層体端部に形成される形成膜との間に隙間が生成し、膜形成後でもリソグのウェット処理による除去が容易となる。磁気抵抗効果積層体のトラック幅は上部リソグの幅により決められる。



## 【 0 0 4 0 】

次にドライエッチングの手法により磁気抵抗効果積層体薄膜の一部がエッチング除去される。エッチング処理された後の断面形状を図 5 (b) に示す。ドライエッチング方法としては、イオンビームエッチングの手法が使用され、上部レジストのトラック幅寸法がエッチング後の形状に出来る限り正確に転写するような条件でかつ自由層端部角度が急峻になるような条件が選ばれる。従来構造の磁気センサーの場合エッチングは下部ギャップ層 2 の Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 層まで行いが、本発明の構造の場合、固定層を構成する反強磁性層 4、もしくは、固定層を構成する強磁性層 5、もしくは非磁性層 6 までエッチングされる。このエッチング深さは自由層 7 の高さ位置に磁区制御膜 1 1 の高さ位置がほぼ一致するように深さが決められる。この深さ位置を調整することはイオンビームエッチング時間の調整により容易に調整することが出来る。イオンビームエッチング中に SIMS 分析観察を同時に行いエッチング深さをモニターリングしながらエッチングする技術等を使用し、イオンビームエッチングの深さを基板面内および基板間で 3 % 以下にすることが可能であり、再現性は十分確保されている。

## 【 0 0 4 1 】

イオンビームエッチング中にはエッチングされた物質がレジスト側面に付着し、再付着層 23 を形成する。そのため上部レジスト端部のトラック幅寸法が自由層トラック幅と完全に一致することは無く、またこの再付着層のために自由層端部傾斜角がなだらかなものとなる。出来るだけ自由層端部傾斜角が急峻化するような、レジスト寸法条件とイオンビームエッチング条件が選ばれる。自由層 7 の端部角度は鋭角的に高い角度の方が良い端部角度を 4 5° 以上になるようなプロセス条件に設定して製造する事が望ましい。端部角度が 4 5° 以下になると、磁区制御膜 1 1 の端部角度も 4 5° 以下となり、残留磁束密度が低下し、強いバイアス磁界を生成することが難しくなる。

## 【 0 0 4 2 】

この後に、スパッタリングの手法を使用し、磁区制御膜アモルファス層 9、磁区制御膜下地層 10、磁区制御膜層 11、電極膜層 12 が連続形成される。図 5 (C) に形成膜形成後の断面模式図を示す。磁区制御膜アモルファス層 9、磁区制御膜

下地層 1 0，磁区制御膜層 1 1，電極膜層 1 2 は連続して形成することが望ましく，また形成する前のイオンビームエッチングも同一真空中で行う事が望ましい。そのためイオンビームエッチング装置と，磁区制御膜アモルファス層 9，磁区制御膜下地層 1 0，磁区制御膜層 1 1，電極膜層 1 2 を連続して形成する装置を真空装置で結合した装置を使用し上記プロセスを行うと，磁区制御特性の良好な薄膜が得られるのみならず，生産性も向上する。

## 【 0 0 4 3 】

磁区制御膜アモルファス層 9 を形成した後，アモルファス層表面の酸化を行うため，真空層内に酸素ガスを導入し，酸素雰囲気に曝す工程を付け加える。真空層には，酸素ガスを導入する機構と排気を制御する機構が付加されているだけで十分である。強い酸化が必要な場合，酸素プラズマを発生させ酸素イオンを生成しアモルファス表面を酸素プラズマにさらすことによっても酸化を制御することが出来る。

## 【 0 0 4 4 】

磁区制御膜アモルファス層 9，磁区制御膜下地層 10，磁区制御膜層 11，電極膜層 12 は自由層端部にその形状を良く制御した状態で形成すべきであり，この観点からイオンビームスパッタ方が成膜方法としては選ばれる。通常の PVD (Plasma Vapor Deposition) スパッタ方法に比較し，より指向性強いスパッタ粒子によって成膜されるため，自由層端部への膜着きまわりが制御できるとされている。すくなくともアモルファス膜 9 と下地膜 10 は，自由層端部が十分覆いかぶさるような成膜条件が選ばれる。またイオンビームスパッタ方は，通常の PVD (Plasma Vapor Deposition) スパッタ方法に比較しスパッタ粒子のエネルギーが高く，室温成膜でも良好な結晶が形成しやすいとともに，結晶粒径の小さな膜となりやすい特徴がある。

## 【 0 0 4 5 】

この後，フォトリジスト 21，22 がウェットプロセスによって剥離除去される。リフトオフ用の二段レジストによりレジスト端部で膜に隙間が発生し，レジストが容易に除去可能となる。このレジストが除去された後に，従来構造ヘッドと同様に上部ギャップ層 1 3，上部シールド層 1 4 が形成され磁気抵抗効果センサー

部が製造される。

#### 【 0 0 4 6 】

上記製造方法により、本発明の磁区制御膜 1 1 を有する磁気抵抗効果センサーが製造できる。また一方、この構造の磁気抵抗効果センサーでは、イオンビームエッチングが、磁気抵抗効果積層体の中間で止められるため、下部ギャップ層 2 にイオンビームが照射することが無く、そのため下部ギャップ層 2 のイオンビームによる損傷が発生しない。従来構造であると下部ギャップ層 2 へイオンビームが照射する構造のため、下部ギャップ膜 2 に損傷が発生し、耐圧特性が劣化する。そのため従来構造では、下部ギャップ層 2 の膜厚を薄く構成することが出来ず、下部及び上部シールド間の距離を小さく構成することに限界があった。しかしながら、本発明の構造であると下部および上部シールド間の距離を小さくすることが可能となり、より高記録密度用の磁気記録センサーに適した構造を実現できる。

#### 【 0 0 4 7 】

##### 【発明の実施の形態】

以下、本発明に係る磁気抵抗ヘッドにおける磁区制御方式の実施形態について説明する。

##### （実施例 1）

始めに、磁気抵抗効果積層体で使用される各層上で Cr 下地膜上の CoCrPt 合金薄膜の示す磁気特性を調べた。結果を表 1 の No.3 から No.6 の種別 A で示す。コーニング社の 7059 ガラス基板上に磁気抵抗効果積層体薄膜を形成し、イオンビームエッチングによって、Ta 膜、NiFe 膜、MnPt 膜、CoFe 膜の各々までエッチングを行い、その表面上に Cr 下地膜を 5 nm 形成した後、CoCrPt 合金薄膜を 20 nm 形成した。それぞれの膜までエッチングを行って、Cr 下地膜（磁区制御膜下地層 1 0）及び CoCrPt 合金薄膜（磁区制御膜層 1 1）を形成した場合の磁気特性を、表 1 の No.3 から No.6 の種別 A で示している。ここで、Ta 膜と NiFe 膜は、磁気抵抗効果積層体下地層 3 であり、本実施例では 2 層構成の下地層としている。また、MnPt 膜は、固定層を構成する反強磁性層 4 であり、CoFe 膜は固定層を構成する強磁性層 5 である。形成方法は、上記製造方法に記載されているイオンビームスパッタ方法を使

用した。イオンビームエッチングは同装置に結合されている装置によりエッチングされ、エッチング後 $1 \times 10^{-7}$ Torr以下の真空度下で約7.5分後にイオンビームスパッタを行い膜形成を行った。比較のためにAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜上及びガラス基板上に形成されたときの磁気特性を表1のNo.1, No.2に記載する。CoCrPt合金の薄膜組成は、Cr組成が2.5at%, Pt組成は14at%のターゲットを使用し薄膜組成が調整され、その残留磁束密度が1T(テスラ)を超えるように選定してある。磁気特性は、VSM (Vibrating Sample Magnetometer) 測定値により10kOeまでの外部磁界を印加した磁化曲線の測定を行い、磁化曲線から特性値を求めた。

## 【0048】

CoCrPr/Cr膜の磁気特性は、ガラス基板やAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜上に形成した場合は、いずれも保磁力が2000(Oe)を超え、保磁力角型比は0.8を超え、高い残留磁束密度値を示した。一方、磁気抵抗効果積層体薄膜の各層上に形成したCoCrPt/Cr膜の磁気特性は、ガラス上もしくはAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>上に形成した場合と比較し、大幅な保磁力値、保持力角型値、残留磁束密度の低下を起し、永久磁石膜特性が劣化した(表1のNo.1~No.6の種別Aを参照)。

## 【0049】

本発明のアモルファス膜9の効果を確認するために、上記(表1の種別A)と同等の基板及びイオンビームエッチング後の薄膜上にアモルファス薄膜9を形成し、その後CoCrPt/Cr薄膜(磁区制御膜11/磁区制御膜下地層10)を形成し磁気特性を測定した。結果を表1の種別Bとして示してある。アモルファス薄膜9としてNiTa薄膜を選定し、NiTa薄膜が成膜された後に大気に暴露され表面酸化した後、CoCrPt/Cr薄膜が成膜された。NiTa薄膜のTa組成は30at%であり、Niに30at%以上のTa添加することでNiTa膜はアモルファス薄膜9になる事と非磁性薄膜となる事は事前に調べてある。また添加元素にTaを選択したのは、NiにTaを添加した薄膜はX線回折法によりブロードなピーク強度が観察され、アモルファス金属薄膜9が形成できるためである。

## 【0050】

また他の検討から、NiやCoにP, Cr, Zr, Nb, Hf, In, Mo, Ti, V, W, Ru, Rh, Pd, Pt等を添加量と形成条件を適正化することによりアモルファス金属となることが判ってい

る。また他の検討からNiP, NiZr, NiNb, NiHf, NiW, NiPd, CoZr, CoCrTa, CoCrNb, CrTi等のアモルファス膜上に形成されたCoCrPt/Cr薄膜は良好な磁気特性を示すことが判っている。

【 0 0 5 1 】

【表 1】

表 1. NiTaアモルファス膜上のCoCrPt/Cr膜の磁気特性

No	種別	サンプル層構成	保磁力 Hc (Oe)	残留磁化 Br(KG)	保磁力角型比 S*
1	A	CoCrPt/Cr/Al2O3	2250	10.3	0.88
	B	CoCrPt/Cr/NiTa/Al2O3	1850	10.5	0.83
2	A	CoCrPt/Cr/Glass	2200	10.5	0.89
	B	CoCrPt/Cr/NiTa/Glass	1600	9.7	0.82
3	A	CoCrPt/Cr/Ta/Glass	800	6.5	0.65
	B	CoCrPt/Cr/NiTa/Ta/Glass	1450	9.2	0.78
4	A	CoCrPt/Cr/NiFe/Ta/Glass	350	1.1	0.3
	B	CoCrPt/Cr/NiTa/NiFe/Ta/Glass	1550	9.8	0.82
5	A	CoCrPt/Cr/MnPt/NiFeCr/Ta/Glass	820	4.2	0.35
	B	CoCrPt/Cr/NiTa/MnPt/NiFeCr/Ta/Glass	1390	9.3	0.8
6	A	CoCrPt/Cr/CoFe/MnPt/NiFe/Ta/Glass	550	3.5	0.4
	B	CoCrPt/Cr/NiTa/CoFe/MnPt/NiFe/Ta/Glass	1430	9.3	0.77

【 0 0 5 2 】

NiTaアモルファス金属薄膜上に形成されたCoCrPt/Cr薄膜の示す磁気特性は、Al2O3薄膜上やガラス基板上に直接形成された場合、NiTaアモルファス膜が無い場合と比較し若干の低下が見られたが、それでも保磁力値が1500(Oe)以上と高い値を示す(表1のNo1,2のAとBの比較)。また磁気記録積層体薄膜の各層上、すなわちTa膜、NiFe膜、MnPt膜、CoFe膜上にNiTa薄膜を形成し大気暴露した後、CoCrPt/Crを形成した膜の磁気特性は、NiTaアモルファス膜が無い場合に比較し、良好な磁気特性を示し、保磁力は約1400(Oe)保磁力角型比は約0.8と高い値を示す(表1のNo.3~No.6の種別B参照)。

【 0 0 5 3 】

これらの磁気特性の変化の原因を調べるため、X線回折 $\theta-2\theta$ 法により夫々のCoCrPt/Cr膜の結晶配向性を調べた。ガラス上及びAl2O3膜上に形成されたCr膜はCr(110)配向しており、その上のCoCrPt膜(磁区制御膜11)はCo(00.2)Co(10.0)Co(11.0)が混合した結晶は配向となっていることが判明したが、磁気抵抗効果積層体薄膜の各層上に形成されたCoCrPt/Cr薄膜は、Co(00.2)の強いピークが観察されCoの六方稠密結晶構造のC軸が膜面垂直方向へ強く配向している構造となっていることが判明した。これは図6のStateA1, StateA2の状態に夫

々対応するものである。

【 0 0 5 4 】

Co結晶の場合、その結晶磁気異方性はC軸方向にあり、C軸が向いた方向に良く保磁力が発現する事が実験的にもシミュレーション上でも確認されている。Co結晶のC軸が膜面垂直方向に向くことにより、結晶磁気異方性が垂直方向にあるため膜面内方向の保磁力が低下した状態となっている。NiTaアモルファス膜上に形成されたCoCrPt/Cr薄膜の結晶配向はCr (200) Co(11.0)の図6のStateCの状態であり、CoCrPt膜のC軸が膜面内と平行になることによりその結晶磁気異方の向く方向が膜面内となり、膜面内の保磁力が高くなると考えられる。

【 0 0 5 5 】

NiTaアモルファス膜をCoCrPt/Cr膜の下地膜として使用することにより、磁気抵抗効果積層体薄膜の中間でイオンビームエッチングを止めた状態の薄膜上でもCoCrPt薄膜の良好な磁気特性が得られることから、実際にリードヘッドを作成し特性を検証することを行った。このときのリードトラック幅は $0.2\mu\text{m}$ のものであり、前述の製造方法により、リードヘッドを作成した。このときの磁区制御膜11の残留磁化量は $200\text{G}\mu\text{m}$ とした。結果従来構造の同一の残留磁化量のヘッドとヘッド特性を比較した場合、ヘッド感度や出力変動及びノイズ特性は良好であり、バルクハウゼンノイズも発生することが無く、ほぼ同一のヘッド特性を得た。また、本実施の形態では、固定層5としてCoFe膜を用いているが、積層フェリ構造の固定層を用いた場合においても、同様に良好な磁気特性、ヘッド感度、ノイズ特性を得ることができた。また、磁気抵抗効果積層体下地層3は2層構成のものを用いて説明したが、3層構成のものであっても同様に実現でき、本発明の範囲内である。また、イオンビームエッチングする深さとしては、磁気抵抗効果積層体の下地層3、反強磁性層4、固定層の強磁性層5の深さレベルに限ることは無く、非磁性層6のレベルでも良好なヘッド特性を得ることができる。また、それぞれの層の中間位置までの深さでも良い。

(実施例2)

本発明の効果を検証するためには磁区制御膜バイアス磁界の印加状態を詳細に評価しなければならない。磁区制御膜11のバイアス磁界が自由層7に適切に印

加されているかどうか詳細に評価するために、外部磁界を印加して、自由層 7 を動作させ、その時の磁気抵抗カーブであるトランスファーカーブの測定を行って評価した。評価方法を説明する。

#### 【 0 0 5 6 】

図 7 にトランスファーカーブの動作原理を示す。外部磁界はトラック幅方向（Tw 方向）に対し直行方向（hMR 方向）に、 $\pm 700(0e)$  の交番磁界が印加され、その時の磁気抵抗が測定される。その例が図 7 の（a） $\Delta V H$  波形に示してある。実際の測定では、波形の再現性も問題となり、 $\Delta V H$  波形は 30 回測定の平均として測定される。外部磁界により自由層磁化方向が固定層磁化方向と同一の方向に向けられた時に、磁気抵抗は最小となる（図 7 の（b））。外部磁界により自由層磁化方向が固定層磁化方向と逆の方向に向けられた時に、磁気抵抗は最大となる（図 7 の（d））。外部磁界がゼロであり取り除かれたときに、自由層は磁区制御磁界（バイアス磁界）と自由層に付加された誘導磁気異方性により固定層磁化方向と直行方向に向かなければならない（図 7 の（c））。この時、磁気抵抗は最大と最小の中間の値となる。

#### 【 0 0 5 7 】

自由層に印加する磁区制御バイアス磁界が不十分であったり、不適切である場合、この  $\Delta V H$  トランスファーカーブのゼロ磁界近傍の波形に開きが生じたり、トランスファーカーブの再現性が失われるようになる。その例を図 8 に示す。外部印加磁界ゼロ近傍で自由層の磁化状態にヒステリシスが発生するとトランスファーカーブにもヒステリシスによる開きが発生する。この開きを  $a$  とし、磁気抵抗変化量を  $\Delta R$  とし、その比  $V h c = a/R$  をトランスファーカーブの開きの程度を表す特性値として使用している。磁区制御膜の残留磁化量が小さくバイアス磁界が不十分なものであったり、自由層の製造条件が不適切なものであったり、もしくは磁区制御膜の磁気特性が悪化したものの場合、このトランスファーカーブの開きは大きくなる事は良く知られている。これはゼロ磁界のときの自由層の磁区の状態が、磁区制御バイアス磁界が不適切なために複雑な磁区状態になっているためにトランスファーカーブに開きが発生すると推定される（図 8（a））。それに対し、自由層のゼロ磁界磁化状態が単葉であり再現性のあるものである場

合にはトランスファーカーブは閉じたものとなる。

【 0 0 5 8 】

また一方、このトランスファーカーブの  $V_{hc}$  と  $\Delta R$  と、実際の磁気ヘッドとして磁気記録媒体上に書き込み読み込み動作を行ったときのリードヘッドの出力特性（ヘッド感度及び波形変動等）及びノイズ特性とは、略対応が取れている。 $V_{hc}$  が小さくトランスファーカーブの開きが小さいものがノイズ特性に優れる。従って磁気抵抗効果積層体が同一の場合、 $V_{hc}$  を評価することによりバイアス磁界が適切かどうか評価できることになる。

【 0 0 5 9 】

次に  $NiTa$  アモルファス表面の酸化プロセスの検討を行った。実施例 1 では、 $NiTa$  アモルファス層の表面酸化を大気暴露する方法により行ったが、酸化プロセスを高精度化するため、真空中に酸素ガスを導入し、酸素雰囲気中で  $NiTa$  アモルファス表面を酸化する。この方法では真空中での酸素雰囲気のガス圧力と  $NiTa$  アモルファス膜の酸素雰囲気への暴露時間の制御を行う事により、容易に表面酸化状態を制御することが可能である。

【 0 0 6 0 】

図9に、酸素雰囲気中に暴露させる時間を変化させたときの磁気特性の変化を示す。 $NiTa$  アモルファス膜の膜厚は 5 nm, Cr 膜厚は 5 nm, CoCrPt 合金薄膜は 10 nm とし、その他薄膜形成条件は実施例 1 のときと同一条件で薄膜を形成した。酸素雰囲気は、Ar ガスに 10 % の  $O_2$  ガスを混入したガスを、 $NiTa$  アモルファス膜を形成後真空中に導入する。ガス圧力は、10 mTorr とした。その後に CoCrPt / Cr 膜が形成される。磁気特性は簡易型のマグネットメータにより測定され、磁化曲線の角型性は SFD (Switching Field Distribution) に現れる。角型比が高い場合は SFD 値が低い値を示す。これら保磁力  $H_c$ , 残留磁化量  $B_{rt}$ , 値は前記 VSM の測定と相関がとれており、VSM 測定に校正した値を使っている。また基板はコーニング社製の 7059 ガラス基板と、磁気抵抗効果積層体薄膜を形成した後にイオンビームエッチングを行い反強磁性膜 4 である MnPt 膜を露出させた基板上に、磁区制御アモルファス層 9 の  $NiTa$  薄膜、酸化処理した後、CoCrPt / Cr 薄膜を成膜したものを比較評価した。



## 【 0 0 6 1 】

NiTaアモルファス膜の酸化時間を増加させると保磁力は一旦上昇し、酸化が進むと保磁力が低下する。酸化時間が30秒の時の保磁力値がもっとも高く1500(Oe)であり、またSFD値がもっとも低い値を示した。7059ガラス基板上と、MnPt上の磁気特性の差は無かった。実施例1で示した大気暴露の酸化条件では、保磁力値は高い値をしめすが、SFD値も高いものとなる。

## 【 0 0 6 2 】

次に、より狭トラック化時に本発明の効果を確認するために、磁区制御膜である残留磁化量を低減したヘッドを作成しヘッド特性を評価することとした。トラック幅は100nmとし、磁区制御膜CoCrPtの残留磁化量は100Gμmとして検討を行った。サンプルの作成方法は前記の方法を使用し作成した。変更した条件をまとめたのが表2である。イオンビームエッチングは、MnPt層が2.5nmオーバーエッチングされる時間で止められてある。比較のために従来構造のもの（サンプル#7）及びNiTaアモルファス膜及びCr下地膜のないもの（サンプル#6）、NiTaアモルファス層の無いもの（サンプル#1）を作成し比較評価した。またNiTaアモルファス膜の表面酸化条件は、酸化なし、酸化30秒、酸化150秒、大気暴露の条件のものが選ばれた。（サンプル#2, 3, 4, 5）これらの条件の磁気特性は、図9に対応するものであり、酸化条件30秒のものがもっとも磁気特性の良好なものである。

## 【 0 0 6 3 】

これらの条件でリードヘッドを作成し、磁区制御バイアス磁界を評価するためトランスファーカーブの測定を行った。結果を図10に示す。抵抗値Rは従来構造（サンプル#8）と略同等であった。磁区制御バイアス磁界の強さを示すV<sub>hc</sub>値は酸化条件30秒の磁気特性がもっとも良いサンプルが最も低く良好なトランスファーカーブとなることが判る。従来構造（サンプル#7）や、下地膜無し（サンプル#6）、NiTa膜の無いもの（サンプル#1）はV<sub>hc</sub>が大きくトランスファーカーブに開きの発生していることがわかる。またNiTa膜の表面酸化条件は、酸化30秒、酸化無し、酸化150秒、大気暴露酸化の順にV<sub>hc</sub>が増大している。

## 【 0 0 6 4 】

磁区制御膜CoCrPtの残留磁化量を  $100\text{ G}\mu\text{m}$  と低減した場合、従来構造（サンプル # 7）のヘッドの  $V_{hc}$  が大きく事は、磁区制御膜と自由層との高さ位置が大きくずれているため、バイアス磁界が適切に自由層へ印加していない為と推定される。NiTa磁区制御アモルファス膜及びCr下地膜無しのものや（サンプル # 6）、NiTa膜の無いもの（サンプル # 1）の  $V_{hc}$  が大きいのは、磁区制御膜と自由層との高さ位置を合せたとしても、磁区制御膜CoCrPtの磁気特性が十分得られておらず、バイアス磁界が適切に自由層へ印加していない為と推定される。

## 【 0 0 6 5 】

図 1 1 に、NiTaアモルファス膜の酸化条件を変化させた時のCoCrPt/Cr薄膜のX線回折波形プロファイルを示す。図 1 1 はX線回折の回折波形であり、CoCrPt/Cr薄膜の回折ピークが明確になる様にNiTa薄膜及び基板の波形は差分として差し引かれたものである。縦軸は任意単位である。NiTaアモルファス膜上でのCoCrPt/Cr薄膜の結晶配向性は、酸化が無いときCo (00.2) /Cr (110) 配向（図 6 のStateA3）であったものが、酸化が進むと一旦配向強度が弱まり、酸化30秒の条件のときにX線Co (00.2) /Cr (110) 配向が消失し（図 6 のStateB）、さらに酸化が進むとCo (11.0) /Cr (200) 配向（図 6 のStateC）と成ることが判る。さらに酸化が進み大気暴露になるとCo (11.0) /Cr (200) 配向（図 6 のStateC）の程度が弱まる。酸化条件30秒の時の結晶状態を把握するため、TEMによって膜の多結晶状態の観察を行った結果、多結晶状態でありその結晶粒径は14～16 nmであることが判明した。また酸化が進むに従い粒径が小さくなっていることも判明した。従って酸化条件30秒の時の結晶配向状態は、膜面内に対し特定の結晶配向方位を持つ多結晶薄膜ではなく、等方的な多結晶状態となっていると考えられる。

## 【 0 0 6 6 】

すなわち、NiTaアモルファス表面の酸化条件を変化させることにより、CoCrPt/Cr薄膜の結晶配向性は、Co(00.2)/Cr(110)配向（図 6 のStateA'）からCo (11.0) /Cr(200)配向（図 6 のStateC）に変化させることが出来、その中間に遷移状態としてCo配向もCr配向も膜面に対し等方的な配向の多結晶状態が存在する。そし

てこの等方配向の時に磁区制御バイアス磁界がもっとも適切に自由層 7 へ印加可能である事を上記実験は示している。また他の実験から、CoCrPt/Cr配向は、Co(10.0), Co (00.2) , Co(11.0)の混晶配向/Cr (110) Cr (200) 混晶配向でもよく、主に特定の結晶配向を持たないCo合金磁区制御膜の方が、磁区制御膜特性が良好であることが判明している。

【 0 0 6 7 】

【表 2】

表2 NiTaアモルファス膜の酸化条件検討サンプル内容

サンプル#	サンプル種別	イオンビームエッチング	NiTaアモルファス層		Cr下地膜層	CoCrPt
		終点止め層位置	膜厚(nm)	酸化条件	膜厚(nm)	膜厚(nm)
1	NiTa膜無し	MnPt層2.5nm	無し	無し	5nm	10nm
2	NiTa表面酸化無し	↑	5nm	↑	↑	↑
3	NiTa表面酸化30秒	↑	5nm	30秒	↑	↑
4	NiTa表面酸化150秒	↑	5nm	150秒	↑	↑
5	NiTa大気暴露	↑	5nm	大気約60秒	↑	↑
6	下地膜無し	↑	無し	無し	無し	↑
7	従来構造	Al2O3 2.5nm	↑	↑	5nm	↑

【 0 0 6 8 】

通常、Co結晶の結晶磁気異方性を持つC軸の方向をバイアス磁界方向へ向けると、強いバイアス磁界を得ることが出来ると考えられるが、これらの実験結果は、C軸を膜面内に配向させるとVhcが大きくなりバラツキが増加することを示している。これは、図4の(a)(b)に示すようにたとえ自由層高さと磁区制御膜高さ位置をあわせたとしても、磁区制御膜の先端は膜厚が小さくなり、自由層へオーバーハングする形状となっており、C軸を膜面内に配向させることにより先端の磁化状態の分散バラツキが大きくなり、Vhcが増加すると推定される。もしくは、磁区制御膜先端のCo多結晶薄膜の膜面内結晶方位が分散しており、C軸を膜面内に配向させると先端のCo結晶粒を通じ磁化状態の分散バラツキが大きくなり、Vhcが増加すると推定される。現状の技術では、上記オーバーハング量を制御することや、Co多結晶の膜面内方向の方位を制御することは極めて困難なものである。従って、現状Co膜の結晶配向は図6のState bに示す等方配か、図6のState A1のCo(10.0), Co (00.2) , Co(11.0)の混晶配向の方が良好な磁区制御バイアス磁界を得られる構造となっていると考えられる。

【 0 0 6 9 】

次に、表 2 のサンプル # 3 の試作ヘッドのリトヘッド特性の評価を行った。結果、出力感度特性は従来構造のものと比較し約 2 倍となり、かつ、出力変動の小さくバルクハウゼンノイズや、リトノイズの小さい薄膜ヘッドが得られた。そのサンプルの断面形状をTEM観察 (Transmission Electron Microscopy: 透過電子顕微鏡観察) を行った結果、自由層端部の傾斜角は  $45^{\circ}$  から  $55^{\circ}$  であった。従来構造ヘッドでも自由層端部傾斜角が自由層へ印加されずバイアス磁界強度に大きく影響することが知られており、少なくとも  $45^{\circ}$  以上の角度が必要であるとされている。同一プロセスで作成したヘッドの自由層端部角度が約  $65^{\circ}$  から  $75^{\circ}$  であるのに対し、本発明の構造のヘッドの自由層端部角度は約  $45^{\circ}$  から  $55^{\circ}$  と小さいが、十分バイアス磁界が印加されえる構造のものであることが判明した。しかしながら本来、自由層端部傾斜角はもっと急峻化するべきものと考えられる。

## 【 0 0 7 0 】

従来構造のものであると、磁区制御膜の残留磁化量を約  $200\text{G}\mu\text{m}$  までしか小さく出来なかったものが、本発明により  $80\text{G}\mu\text{m}$  まで下げられ、その分感度向上に大きく寄与する。また不感帯の程度を評価した結果、従来構造のものでは  $70\text{nm}$  であったものが、本発明のものでは、約  $40\text{nm}$  と半減することが判り、峡トラック用リードヘッドには不可欠な技術であることが判明した。

## (実施例3)

次に、NiTaアモルファス膜及びCr下地膜の形成条件の磁区制御膜の磁気特性及びヘッド特性に及ぼす影響を調べた。

## 【 0 0 7 1 】

図 1 2 にNiTaアモルファス膜上でCoCrPt/Cr薄膜を形成した時の磁気特性のCr膜厚依存を示す。NiTaアモルファス膜の膜厚は  $5\text{nm}$  であり、その酸化条件は実施例 2 で決めた 30 秒の酸化時間条件を選定してある。CoCrPt合金膜の膜厚は  $10\text{nm}$  とした。使用した基板は、7059ガラス基板上に磁気抵抗効果積層体薄膜を形成した後、イオンビームエッチングでMnPt膜までエッチングしたものを使用した。Cr下地膜膜厚は  $2.5\text{nm}$  以下では磁気特性が劣化することが判明した。

## 【 0 0 7 2 】

図 1 3 に NiTa アモルファス膜上で CoCrPt/Cr 薄膜を形成した時の磁気特性の NiTa アモルファス膜膜厚依存を示す。Cr 下地膜の膜厚は 5 nm であり、その酸化条件は実施例 2 で決めた 3 0 秒の酸化時間条件を選定してある。CoCrPt 合金膜の膜厚は 1 0 nm とした。使用した基板は、7059 ガラス基板上に磁気抵抗効果積層体薄膜を形成した後、イオンビームエッチングで MnPt 膜（固定層を構成する反強磁性層 4）までエッチングしたものを使用した。NiTa アモルファス膜 9 の膜厚は 1.5 nm より小さい場合に磁気特性が劣化することが判明した。

#### 【 0 0 7 3 】

これら、NiTa アモルファス膜や Cr 下地膜が薄い場合、の Co 結晶の配向を調べると Co (00.2) 配向の強い配向となっており、C 軸が膜面垂直方向を向いており、保磁力等が低下する。NiTa アモルファス膜や Cr 下地膜が薄いとその結晶性が低下し Co 合金磁性膜の結晶配向を制御できなくなる。

#### 【 0 0 7 4 】

NiTa アモルファス膜、及び Cr 下地膜の膜厚を各々、1.5 nm, 2.5 nm にしても良好な磁気特性が得られるので、その下地膜膜厚条件でヘッドを試作し、ヘッド特性を評価した。実施例 2 のサンプル # 3 条件のヘッドの V<sub>hc</sub> の平均値は 0.04 であったのに対し、膜厚を薄膜化したサンプルは 0.02 の値を示し、さらにトランスファーカーブのヒステリシス開きが小さい再現性の良いヘッドが得られた。これは NiTa アモルファス膜、及び Cr 下地膜の膜厚を薄膜化する事により、図 4 の (a) (b) で示す自由層 7 と磁区制御膜 1 1 の隙間隔が狭小化し、より強いバイアス磁界が印加するためである。自由層端部傾斜部での磁区制御膜の磁気特性を良好に保ちながら、自由層と磁区制御膜の隙間隔が狭小化する事はバイアス磁界を適正化するうえで重要なことであることが判明した。

#### 【 0 0 7 5 】

また本発明で使用されるイオンビームスパッタ方法では、磁気抵抗効果積層体端部傾斜部に形成される膜厚を、スパッタ粒子の入射角を変更する事により変更可能である。イオンビームスパッタ方法でスパッタ粒子の入射角を変更し実験した結果、NiTa アモルファス膜、及び Cr 下地膜は、磁気抵抗効果積層体端部傾斜部で CoCrPt 薄膜の先端下部まで着きまわる条件でなければ V<sub>hc</sub> が増加することが判

明した。

【 0 0 7 6 】

ここに示したように、NiTaアモルファス膜及びCr下地膜の形成条件の最適化を行うことにより、磁区制御バイアス磁界を適正化することが可能となりヘッド特性を向上できる。

(実施例4)

次にCoCrPt合金薄膜の膜厚を変更し、残留磁化量 $B_{rt}$ を変化させバイアス磁界を最適化する実験を行った。CoCrPt合金薄膜は、その飽和磁束密度1.35Tのものである。磁気抵抗効果積層体の自由層7のタイプは積層フェリタイプの自由層でありCoFe膜/Ru膜/NiFe膜の構造を持ち、トータル膜厚が4.2nmのものを使用した。また $T_{wf}$ は実施例2と同等の100nmになるようにレジストを選定してある。また本発明の構造のヘッドと従来構造のヘッドの2種類のヘッドを試作しトランスファーカーブの $V_{hc}$ と $\Delta R$ を比較した。図14にその時の結果を示す。横軸は磁区制御膜膜厚と自由層膜膜厚の比で表記してある。

【 0 0 7 7 】

従来構造のヘッドの場合、磁区制御膜膜厚と自由層膜厚との比が4より小さくなると、トランスファーカーブの開きを示す $V_{hc}$ が極端に増加する。それに対し本発明構造のものでは磁区制御膜11の膜厚と自由層7の膜厚との比2までは大きな開きは観察されない。また膜厚を小さくすると、本発明の場合も従来構造の場合も抵抗変化量 $\Delta R$ が増加する。また従来構造の場合の方が $\Delta R$ は大きい。

【 0 0 7 8 】

これは、磁区制御膜膜厚と自由層膜厚との比が小さくなるとバイアス磁界が小さくなることを示している。また同じ磁区制御膜膜厚と自由層膜厚との比でも本発明の方が従来構造より抵抗変化率が小さいのは、自由層7に印加される実行的バイアス磁界が本発明構造の方が強い事を示している。従って、従来構造に比し本発明の構造の方が自由層7に適切にバイアス磁界が印加されていると結論することが出来る。

【 0 0 7 9 】

次に、磁区制御膜11のCoCrPt合金組成を変更し、飽和磁束密度 $B_s$ 1.55Tを示

す材料組成ものを使用し、磁区制御膜膜厚を変化させる実験を行った。この時の保磁力値は1150(0e)，角型比は0.91であった。磁区制御膜膜厚と自由層膜厚との比を1としたものと2としたものでは、いずれのものもVhc値が小さくなる。図14よりVhc値を0.05以下とした場合、磁区制御膜厚と自由層膜厚の比を0.75まで低下させて使用できることを示している。従って飽和磁束密度が高く残留磁束密度が高い場合Vhcが低下できることが示された。この手法で、磁区制御膜の膜厚を薄くした構造とし、図4の(a)すなわち図2の構造にすることにより、自由層7に局所化したバイアス磁界を印加可能となる。

#### (実施例5)

本発明の構造を持つ再生ヘッドに記録ヘッドを組み合わせ形成し、磁気ヘッドを作ることは容易である。本発明に記載のごとく本発明の再生ヘッドは、そのリードトラック幅が200nm以下、特に100nm近傍のヘッドに最適な構造のものであり、その狭トラック幅に対応した書き込みヘッドが組み合わせ製造されるものである。この磁気ヘッドが、高記録密度用磁気記録装置に組み込まれ、信号情報の書き込み読み出しに使用され、その信号品質の高さから、情報誤読み出し率の低し、磁気記録装置が提供される。

#### 【0080】

図15に、本発明の磁区制御構造を持つ再生ヘッドを組み込んだ磁気ヘッドの全体図を示す。下部シールド34の上部に絶縁層35を介して磁気抵抗効果を有する磁気抵抗効果積層体36が配置され、その両端斜面に隣接して磁区制御積層体M1がある。磁区制御積層体の上部には電極12がある。電極12の上部に絶縁層37を介して上部シールド38がある。38の上部に絶縁層39を介して下部磁極40aがある。下部磁極の一部は突起状の構造40bをなしており、この部分で記録動作を行う。下部磁極40aの上部にはコイル42と上部磁極41a、41bがある。上部磁極41aの先端部は浮上面からリセスされており、上部磁極41bの先端より奥に入った構造をなす。上部磁極を41a、41bのように分割することにより、コイル42を流れる電流によって磁極内に発生する磁束を効果的に先端部分に集め、記録特性を向上させることが出来る。この書き込みヘッドは主磁極と副磁極を有する垂直記録用のものでも良い。

## 【 0 0 8 1 】

図 1 5 に対応する磁気ヘッドを作成し、磁気記録媒体へ磁気記録動作を行わせリード信号の特性を評価した。その結果、リード出力強度の増加と信号ノイズが十分に抑えられている事を確認した。

## (実施例 6)

磁気抵抗効果積層体は、固定層と自由層の配置の方式により 3 種類のものが現状知られている。すなわち磁気抵抗積層体は、固定層を下部に配置し、非磁性層を介して上層に自由層を配置するボトムスピバルブ (BSV 膜: Bottom Spin Valve) 膜と、自由層を下部に配置し非磁性層を介して固定層を上層に配置するトップスピバルブ (TSV 膜: Top Spin Valve) 膜、固定層を下部と上部に配置し、下部非磁性層と上部非磁性層を介して自由層を中央に配置するデュアルスピバルブ (DSV 膜: Dual Spin Valve) 膜の 3 種に分類され、夫々の特徴を有する。

## 【 0 0 8 2 】

実施例 1, 2, 3, 4, 5 は、磁気抵抗効果積層体の構造が、ボトムスピバルブ膜の場合の実施例である。磁気抵抗効果積層体が、デュアルスピバルブ膜の場合の構造を図 16 に示す。デュアルスピバルブ膜は、磁気抵抗効果を発現する層が自由層の上部と下部の界面であるため、磁気抵抗変化率を大きくとる事が可能であるとともに、信号波形の対称性が容易に得られる構造であるため、信号品質の要求の高い磁気ディスク装置に使用される。

## 【 0 0 8 3 】

図 16 のデュアルスピバルブ膜の磁気抵抗効果積層体は、下地層 3, 下層の反強磁性層 4, 下層の固定層 5, 下層の非磁性層 6, 自由層 7, 上層の非磁性層 6U, 上層の固定層 5U, 上層の反強磁性層 4U, 保護膜層 8 の順に下層から上層へ形成した構造となっている。図 5 に示した製造方法と同じ製造方法で、磁気抵抗効果積層体上にフォトリソを塗布した後、イオンビームエッチング法により下層の反強磁性層までエッチングされる。その後、磁区制御膜アモルファス層 9, 磁区制御膜下地層 10, 磁区制御膜層 11, 電極膜層 12 が順次形成される。イオンビームエッチング時にエッチングするエッチング深さ位置と磁区制御膜アモル



アス層 9, 磁区制御膜下地層 10, 磁区制御膜層 11 各層の膜厚を調整する事により, 磁気抵抗効果積層体中の自由層と磁区制御膜の高さ位置は合せこむ事ができる。また磁区制御膜の磁気特性や結晶配向性は, 実施例 2, 3, 4 に示された方法により制御でき, また磁区制御バイアス磁界を最適化できる。

#### 【0084】

デュアルスピバルブ膜に上記構造の磁区制御膜を適用し, 残留磁束密度を 100G $\mu$ mまで低減したヘッドの試作を行い, 出力向上の効果とノイズが抑制されている効果を確認した。

#### (実施例 7)

磁気抵抗効果積層体が, トップスピバルブ膜の場合の構造を図17に示す。図17のトップスピバルブ膜の磁気抵抗効果積層体は, 下地層3, 自由層7, 上層の非磁性層6U, 上層の固定層5U, 上層の反強磁性層4U, 保護膜層8の順に下層から上層へ形成した構造となっている。ボトムスピバルブ膜やデュアルスピバルブ膜と同様の製造方法と磁区制御積層体構造により磁区制御バイアス磁界を最適化できる。すなわち図5に示した製造方法と同じ製造方法で, 磁気抵抗効果積層体上にフォトリジストを塗布した後, イオンビームエッチング法により下層の下部ギャップ層2までエッチングされる。この際, エッチング深さは, 自由層と磁区制御膜の高さ位置をそろえる目的のためには, 下地膜層3まででも良い。その後, 磁区制御膜アモルファス層9, 磁区制御膜下地層10, 磁区制御膜層11, 電極膜層12が順次形成される。イオンビームエッチング時にエッチングするエッチング深さ位置と磁区制御膜アモルファス層9, 磁区制御膜下地層10, 磁区制御膜層11各層の膜厚を調整する事により, 磁気抵抗効果積層体中の自由層7と磁区制御膜11の高さ位置は容易に合せこむ事ができる。

#### 【0085】

このトップスピバルブ膜構造の場合, 自由層7が下部ギャップ膜近傍の下部に配置されている。また下部ギャップ膜は, 多くの場合Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>やAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>=SiO<sub>2</sub>のアモルファス絶縁膜が使用される。磁区制御膜として使用するCoCrPt合金膜とCr合金下地膜は, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>やAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>=SiO<sub>2</sub>のアモルファス絶縁膜上では磁気特性が得られ易く, 結晶配向性も図6のStateA1の状態となる。このため, 磁区制御アモルファス膜が配置されて

いなくても、磁気特性の良好なCo合金磁区制御膜11を自由層7の近傍へ配置しやすい構造であり、かつ、高さ位置も合せこみ易い構造である。しかしながら、磁気抵抗効果積層体端部の傾斜面上に存在するCo合金磁区制御膜の磁気特性は低下しているものと推定され、その傾斜部に起因する磁区制御膜の特性不安定性は除かれない事が容易に想像される。

## 【0086】

そこで、トップスピバルブ膜に磁区制御フェルマス層のある場合とない場合のリードヘッドを作成し、磁気抵抗トランスファーカーブの測定を行い、磁区制御バイアス磁界の評価を行った。この時の残留磁束密度は、 $100\text{G}\mu\text{m}$ であり、自由層7と磁区制御膜11の高さ位置は合せ込んである。その結果、磁区制御フェルマス層のある場合の $V_{hc}$ 値は0.015であったのに対し、磁区制御フェルマス層のない場合は $V_{hc}$ が0.035であった。従って、斜面の部分に存在するCo合金磁区制御膜11の磁気特性は磁区制御バイアス磁界の安定性に影響を与えている事が明確となった。従来方式では、斜面部でCo合金磁区制御膜の特性を向上させることが出来ず、斜面部での磁区制御膜の特性不安定性を取り除く事が出来ない。

## 【0087】

トップスピバルブ膜に本実施例の構造の磁区制御膜11を適用し、残留磁束密度を $100\text{G}\mu\text{m}$ まで低減したヘッドを試作を行い、出力向上の効果とノイズが抑制されている効果を確認した。この時のCo合金磁区制御膜11は、図6のStateBの結晶配向性のものである。磁気抵抗効果積層体の斜面部に形成されたCo合金磁性膜の磁気特性や、Co合金磁区制御膜の結晶配向性が、磁区制御バイアス磁界の安定性に影響を及ぼしているという実験結果は、磁区制御膜11の形状と配向性が強く相関してバイアス磁界を決めていると考えられる。現状の技術では、磁気抵抗効果積層体の斜面部に形成されたCo合金磁性膜の形状は、自由層端部を覆い被る形状となっており、自由層の端部へ完全に配置する形状は出来ない。現状の自由層端部を覆い被る形状の場合にはCo合金磁区制御膜の結晶配向性は等方配向が好ましいと考えられる。

## 【0088】

今後、磁区制御膜形状を最適化できた時に、Co合金磁区制御膜の結晶配向性は

Co合金膜のC軸が膜面内に配向しているものが良い可能性がある。いずれにせよ、本発明で開示された製造方法によりCo合金磁区制御膜の結晶配向性は制御することが可能であり、磁区制御膜構造を最低化することが可能である。

## 【0089】

このように、上述のような磁区制御構造を持つ再生ヘッドを用いることで、高感度でノイズ特性が良い磁気ヘッドを容易に提供できると共に、記録密度の高い磁気記録装置が容易に供給可能となる。

## 【0090】

実施例6及び7に磁気抵抗効果積層体の種類が異なった場合の本発明に開示された磁区制御膜の構造と製造方法を適用した場合の有効性を記した。一方、近年TMR効果を利用した磁気抵抗効果積層体の開発や、あらたな構造の磁気抵抗効果積層体の開発が急速に進展している。本発明の主な目的は、少なくとも固定層と自由層を有する磁気抵抗効果積層体の自由層に、最適な磁区制御パルス磁界を印加する構造に関してであり、本発明は種種の磁気抵抗効果積層体の磁区制御方式に適用することが可能なものがある。従って本発明はTMR方式の磁気抵抗効果積層体や、反強磁性体を有しない固定層を有する磁気抵抗効果積層体等、に容易に適用し有効な技術である事は十分認識されるべきことである。

## 【0091】

## 【発明の効果】

本発明のような磁気抵抗ヘッドの自由層の磁区制御方式を用いることで、狭トラック化に対しても従来の磁区制御方法の素子に比較して大きな感度を持ちながら、かつノイズ特性が良く、安定性が高い磁気抵抗効果ヘッドを実現することができる。

## 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第一の実施形態であり、磁気抵抗効果積層体の固定層の中間までイオンミリングを行いイオンミリングの止める高さ位置を調整することにより、自由層の中心高さと磁区制御膜の自由層近傍の中心高さを一致させた配置にする構造であり、かつ、磁区制御膜下地膜下層にアモルファス合金膜層を配置することにより、磁区制御膜の永久磁石膜特性を向上させることが出来る構造を示し

たものである。断面構造は、現実には複雑な曲線となるが、その構造を直線近似として模式的に示した図である。A部は磁気抵抗積層体端部と磁区制御下地膜から電極膜までの積層膜との結合部であり、その構造を詳細に記したのがA部詳細である。

【図2】本発明の第二の実施形態であり、自由層の中心高さと磁区制御膜の自由層近傍の中心高さを一致させた配置にする構造であり、かつ自由層膜厚より磁区制御膜の膜厚を薄く構成した場合の断面構造を示した図である。A部は磁気抵抗積層体端部と磁区制御下地膜から電極膜までの積層膜との結合部であり、その構造を詳細に記したのがA部詳細である。

【図3】従来構造の磁区制御膜の断面構造を示した図である。

【図4】磁気抵抗効果積層体端部での、固定層強磁性体と自由層及び磁区制御膜の位置関係及び、バイアス磁界磁束線を模式的に示した図である。(a)は図2に対応した構造の場合の図であり自由層中心高さ位置19と磁区制御膜中心高さ位置20とが一致している事を示す。(b)は図1に対応した場合の図であり、自由層中心高さ位置19と磁区制御膜中心高さ位置20とが一致している事を示す。(c)は従来構造図3に対応した場合の図であり、自由層中心高さ位置19と磁区制御膜中心高さ位置20とが一致していない事を示す。+と-記号は、自由層端部傾斜部の磁区制御膜のテーパ形状故に発生する磁荷を模式的に示したものである。白い矢印Hは、磁区制御膜の磁化方向を示したものであり、灰色の矢印Hdは、自由層端部傾斜部の磁区制御膜のテーパ形状によって生成する反磁界を示したものである。 $\alpha$ は自由層端部傾斜角をあらわし、自由層端部傾斜部の磁区制御膜のテーパ形状下面の角度は、 $\alpha$ に近い角度になる事は注意を要する。Sは自由層端部と磁区制御膜側面との隙間隔を表す。自由層端部傾斜部の磁区制御膜のテーパ形状下面の角度及び自由層端部と磁区制御膜側面との隙間隔Sは磁区制御アモルファス膜及び磁区制御下地膜の形成プロセスに依存する。

【図5】本発明の構造を実現する為の製造工程を示した図である。

(a)は磁気抵抗効果積層体を形成した後にリフトオフ用フォトレジストを形成した時の断面構造図である。(b)はリフトオフレジスト塗布後、イオンビームミリング方法によって磁気抵抗効果積層体の固定層反強磁性膜までエッチングし、自

由層トラック形状を形成した時の断面構造模式図である。(c)は自由層トラック形状を形成した後、磁区制御膜アモルファス層、磁区制御下地膜層、磁区制御膜層及び電極膜層を成膜した時の断面構造模式図である。この後リフトオフ用レジストが除去され本発明の磁気センサーが形成される。

【図6】本発明の磁区制御膜及び磁区制御下地膜のX線回折方による結晶配向状態を説明する断面模式図である。配向面表記はX線の観察される面に従ったものである。

StateA1は、磁区制御膜Co合金薄膜の六方最密格子のC軸が膜面内に垂直と平行な結晶粒が混晶している場合であり、主にどちら配向しているという事のない状態である。

StateA2は、磁区制御膜Co合金薄膜の六方最密格子のC軸が膜面内に垂直な場合である。

StateA3は、磁区制御膜Co合金薄膜の六方最密格子のC軸が膜面内に垂直な場合である。

StateCは、磁区制御膜Co合金薄膜の六方最密格子のC軸が膜面内に平行な場合である。

StateBは、磁区制御膜Co合金薄膜の六方最密格子のC軸が膜面内に平行でも無く垂直でもなく特徴をもった配向をせず、等方的に配向した場合である。磁区制御アモルファス膜の表面の酸化条件を調整しStateBの状態が実現できる。

【図7】本発明の実施例において、磁区制御膜のバイアス磁界が適切に磁気抵抗効果積層体に印加されているか評価する為に測定した磁気抵抗トランスファーカーブの動作原理を説明する図である。

【図8】本発明の実施例において測定した、トランスファーカーブの特性値である磁気抵抗変化量 $\Delta R$ とトランスファーカーブの開きを表す $V_{hc}$ を説明する図である。

【図9】本発明の実施例2において、磁区制御アモルファス膜上の酸化条件を変化させた時の磁区制御膜の静磁気特性の変化を示すグラフである。

【図10】本発明の実施例2において、磁区制御アモルファス膜上の酸化条件を変化させた時の磁気抵抗トランスファーカーブの特性値の変化を示すグラフである

【図11】本発明の実施例2において、磁区制御アモルファス膜上の酸化条件を変化させた時の磁区制御膜及び磁区制御下地膜の結晶配向性をX線回折方によって調査した時のX線回折波形である。

【図12】本発明実施例3において、磁区制御膜の磁気特性の磁区制御膜Cr下地膜膜厚依存を示すグラフである。

【図13】本発明実施例3において、磁区制御膜の磁気特性の磁区制御膜NiTaアモルファス膜膜厚依存を示すグラフである

【図14】本発明実施例4において、磁区制御膜の膜厚を変化させたときの磁気抵抗トランスファーカーブの特性値の変化を示すグラフである。本発明構造を適用した場合と従来構造の場合を示す。

【図15】本発明実施例5において、本発明に提示されたリードセンサーを形成した後に書き込みヘッドを形成して磁気ヘッドを作成し、本発明を検証した時の磁気ヘッド構造の模式図を示す。

【図16】本発明実施例6において、下地層、反強磁性層、固定層、非磁性層、自由層、上層の非磁性層、上層の固定層、上層の反強磁性層、保護膜層の順に下層から上層へ形成した構造の磁気抵抗効果積層体を使用し、本特許で開示された磁区制御膜構造を適用した場合の構造を示した断面模式図である。

【図17】本発明実施例7において、下地層、自由層、上層の非磁性層、上層の固定層、上層の反強磁性層、保護膜層の順に下層から上層へ形成した構造の磁気抵抗効果積層体を使用し、本特許で開示された磁区制御膜構造を適用した場合の構造を示した断面模式図である。

#### 【符号の説明】

1・・・下部シールド層、2・・・下部ギャップ層、3・・・磁気抵抗効果積層体  
下地層、4・・・固定層を構成する反強磁性層、4U・・・固定層を構成する自由層上部に配置された反強磁性層、5・・・固定層を構成する強磁性層、5U・・・自由層上部に配置された固定層を構成する強磁性層、6・・・非磁性層、6U・・・自由層上部に配置された非磁性層、7・・・自由層、8・・・保護膜層、9・・・磁区制御膜アモルファス層、10・・・磁区制御膜下地層、11・・・磁区制御膜

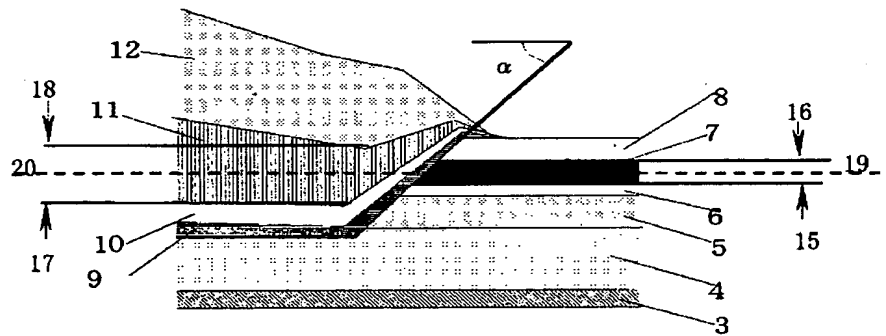
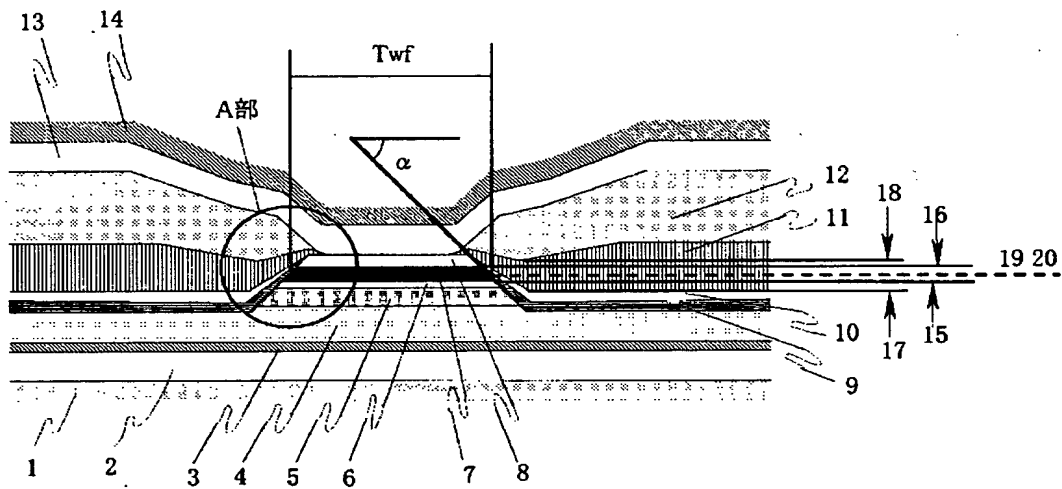
層, 12 . . . 電極膜層, 13 . . . 上部ギャップ層, 14 . . . 上部シールド層, 15 . . . 自由層下面高さ位置, 16 . . . 自由層上面高さ位置, 17 . . . 磁気抵抗効果積層体端部近傍の磁区制御膜下面高さ位置, 18 . . . 磁気抵抗効果積層体端部近傍の磁区制御膜上面高さ位置, 19 . . . 自由層中心高さ位置, 20 . . . 磁気抵抗効果積層体端部近傍の磁区制御膜中心高さ位置, 21 . . . リフトオフレジスト下部, 22 . . . リフトオフレジスト上部, 23 . . . イオンミリング工程再付着膜, 24 . . . 磁区制御層成膜工程再付着膜 34 . . . 下部シールド, 35 . . . 絶縁層, 36 . . . 磁気抵抗効果積層体, 37 . . . 絶縁層, 38 . . . 上部シールド, 39 . . . 絶縁層, 40a . . . 下部磁極, 40b . . . 下部磁極突起, 41a . . . 上部磁極1, 41b . . . 上部磁極2, 42 . . . コイル

A部 . . . 磁気抵抗効果積層体端部,  $T_w f$  . . . 自由層トラック幅,  $\alpha$  . . . 自由層端部角度,  $S$  . . . 自由層端部と磁区制御膜との隙間隔, 白い矢印  $H$  . . . 磁区制御膜磁化方向, 灰色の矢印  $H_d$  . . . 磁区制御膜内に発生する反磁化方向, + と - 記号 . . . 磁区制御膜のテーパ形状故に発生する磁荷, 矢印 . . . 磁区制御膜の端部から発生する磁束線の模式図

【書類名】 図面

【図 1】

図 1

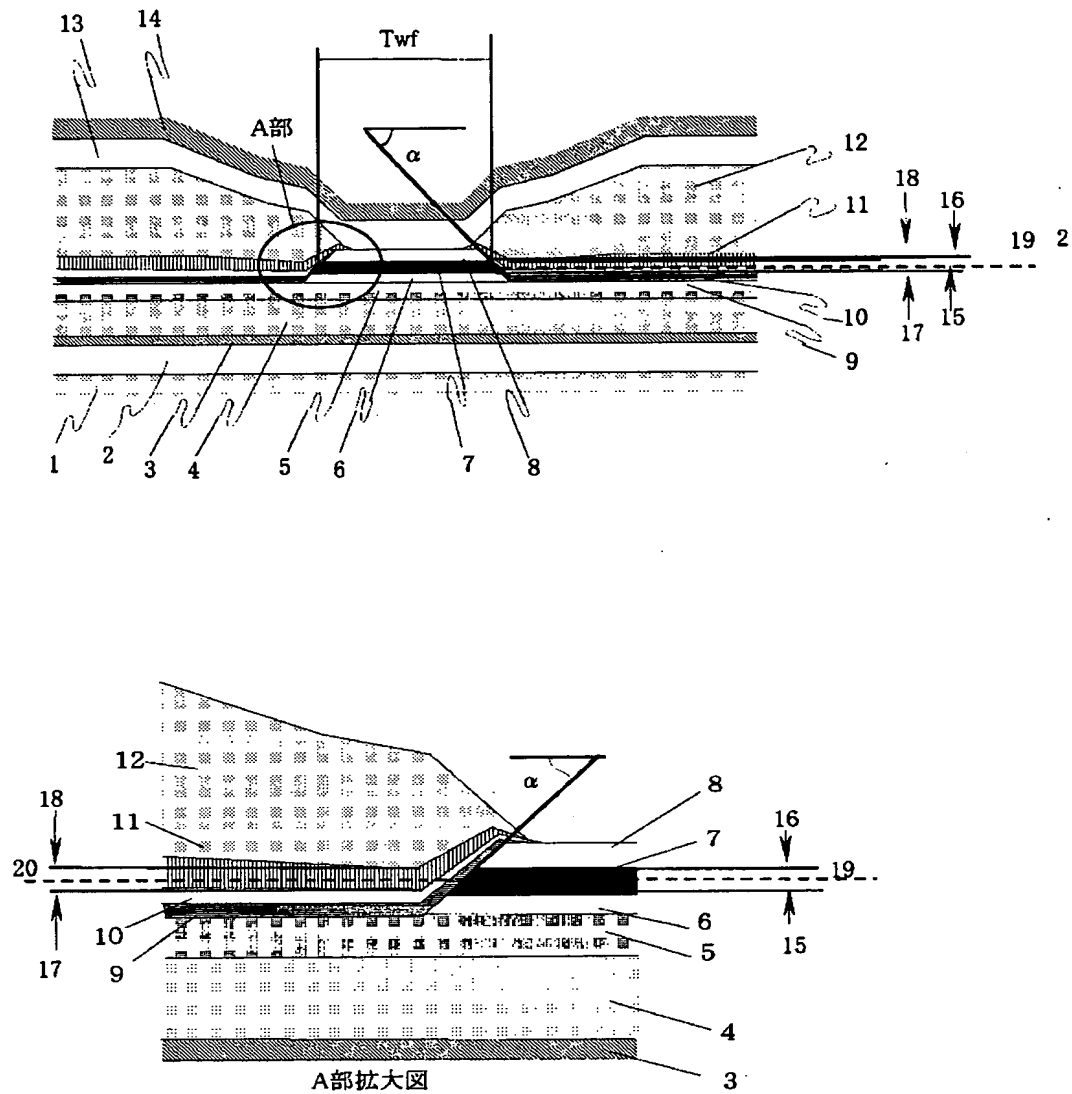


A部拡大図



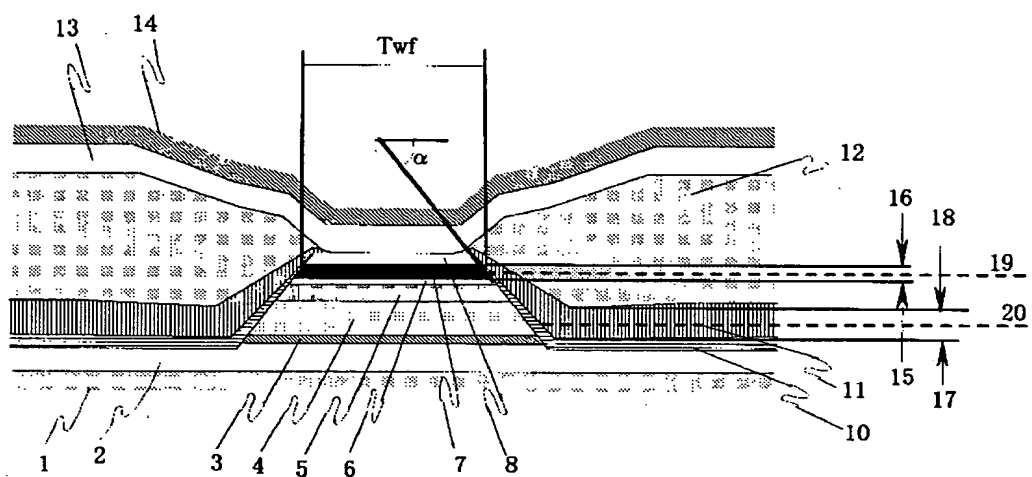
【図 2】

図 2



【図3】

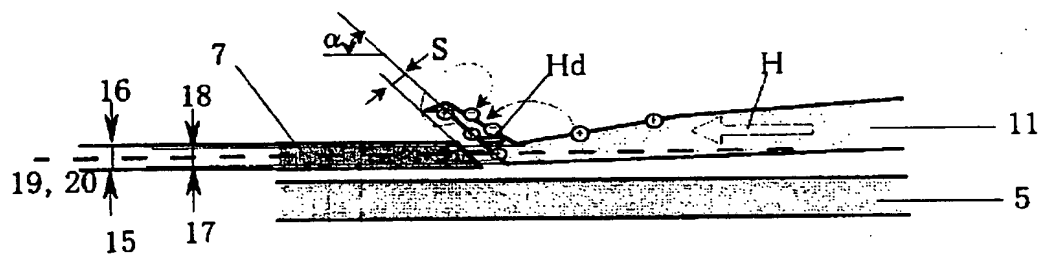
図 3



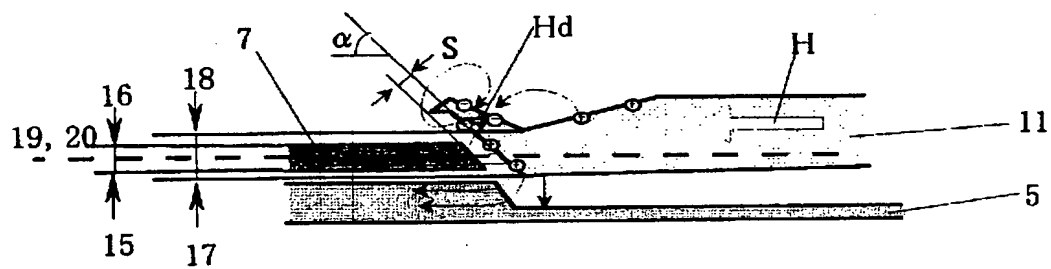
【図 4】

図 4

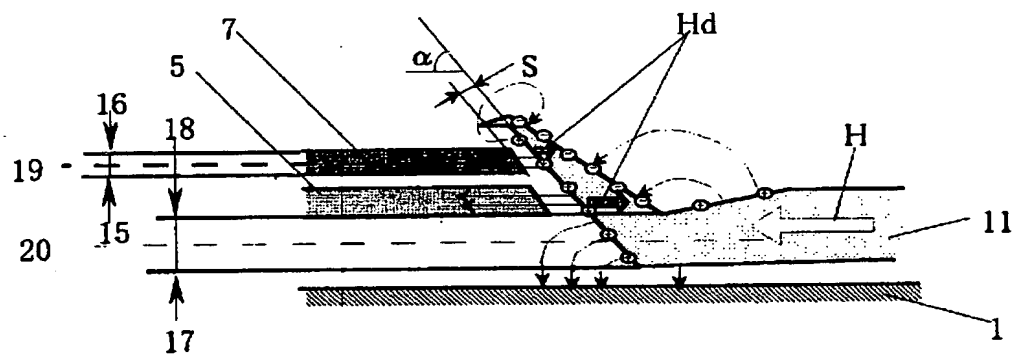
(a)



(b)

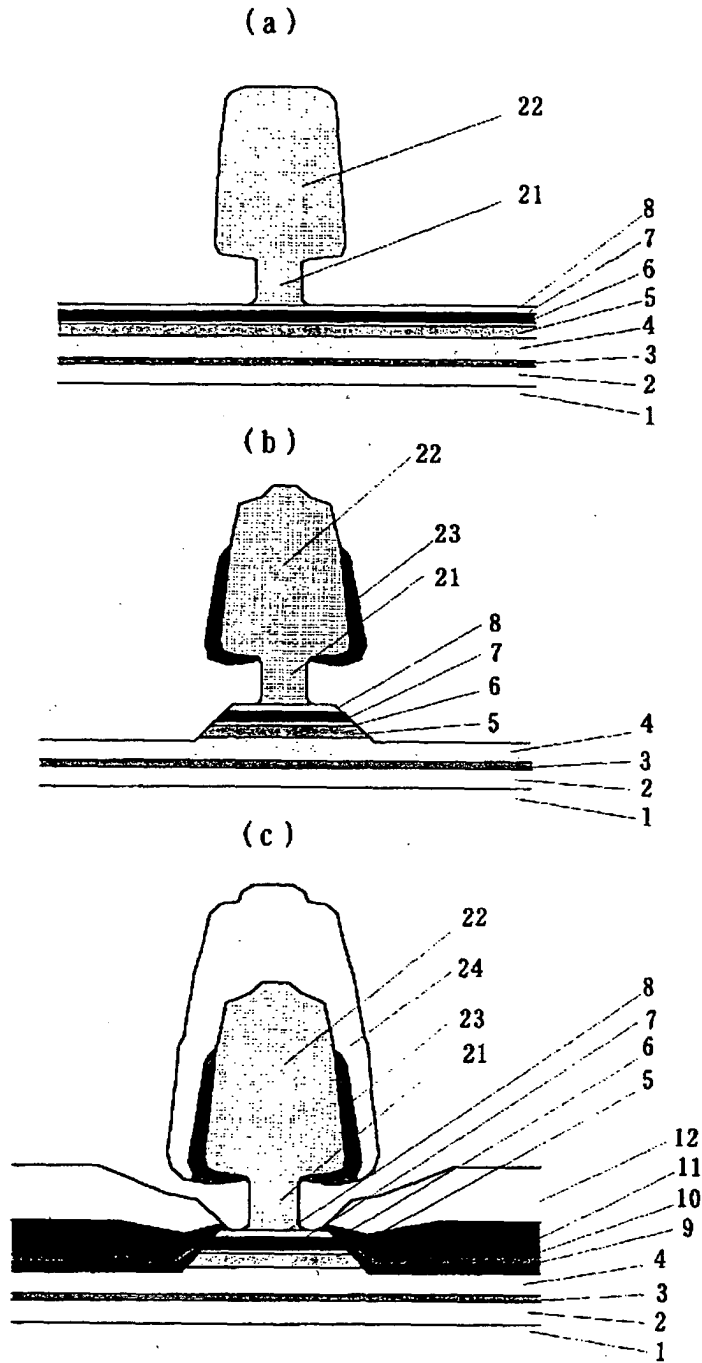


(c)



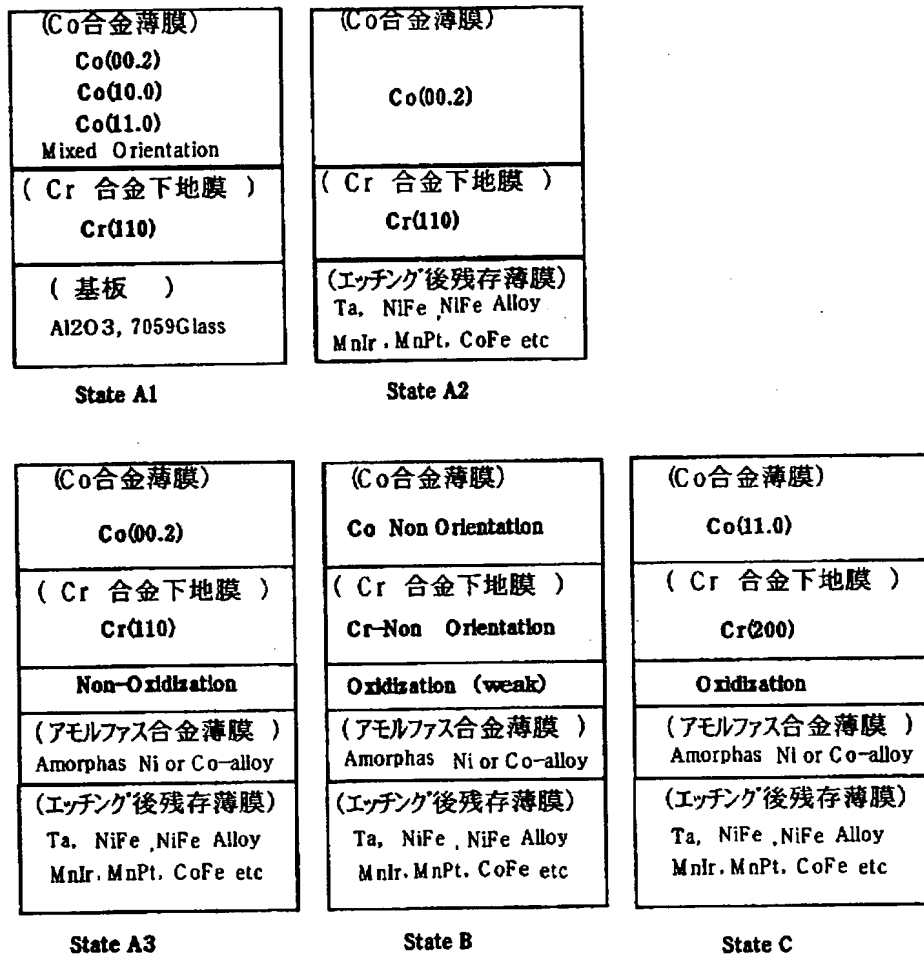
【図5】

図 5



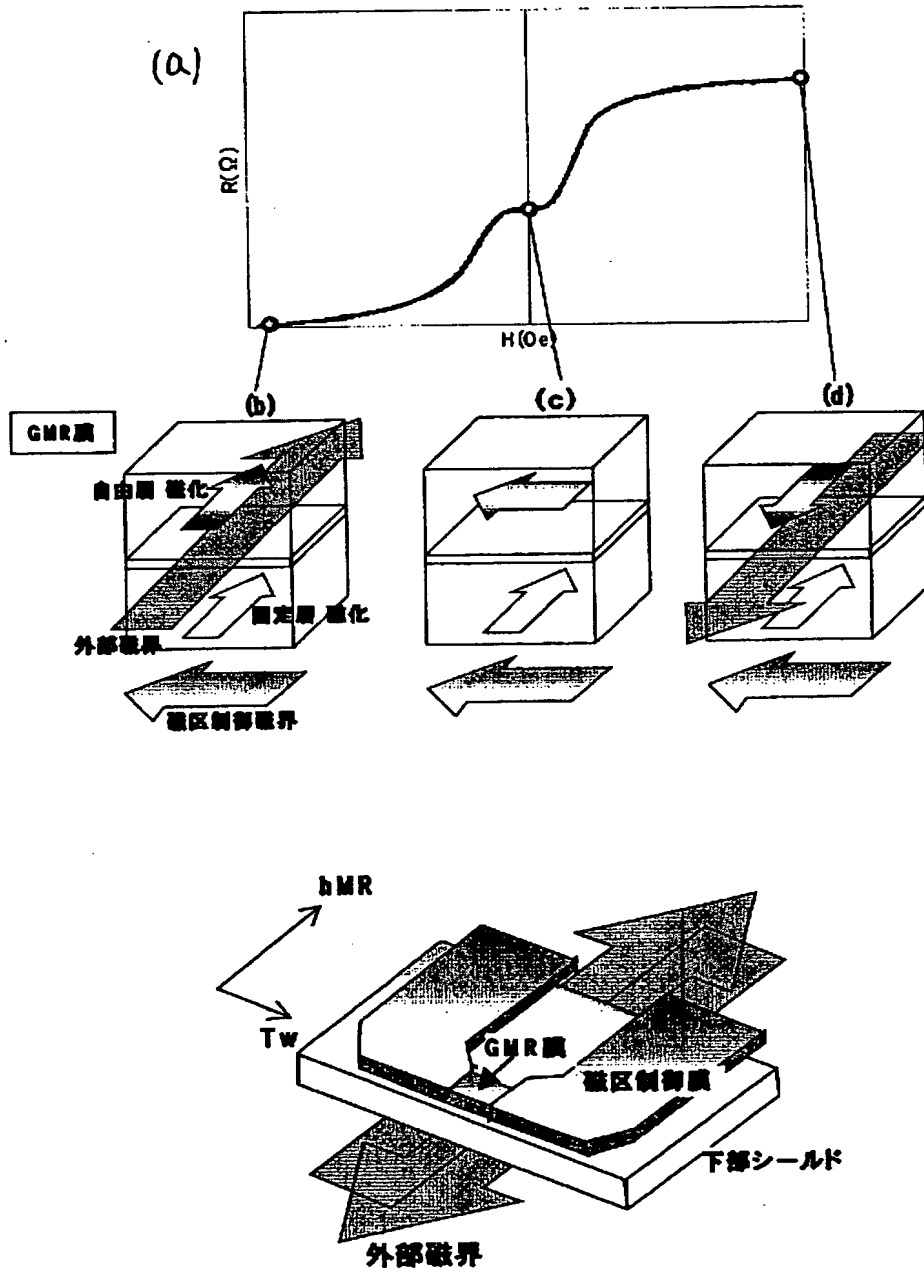
【図 6】

図 6



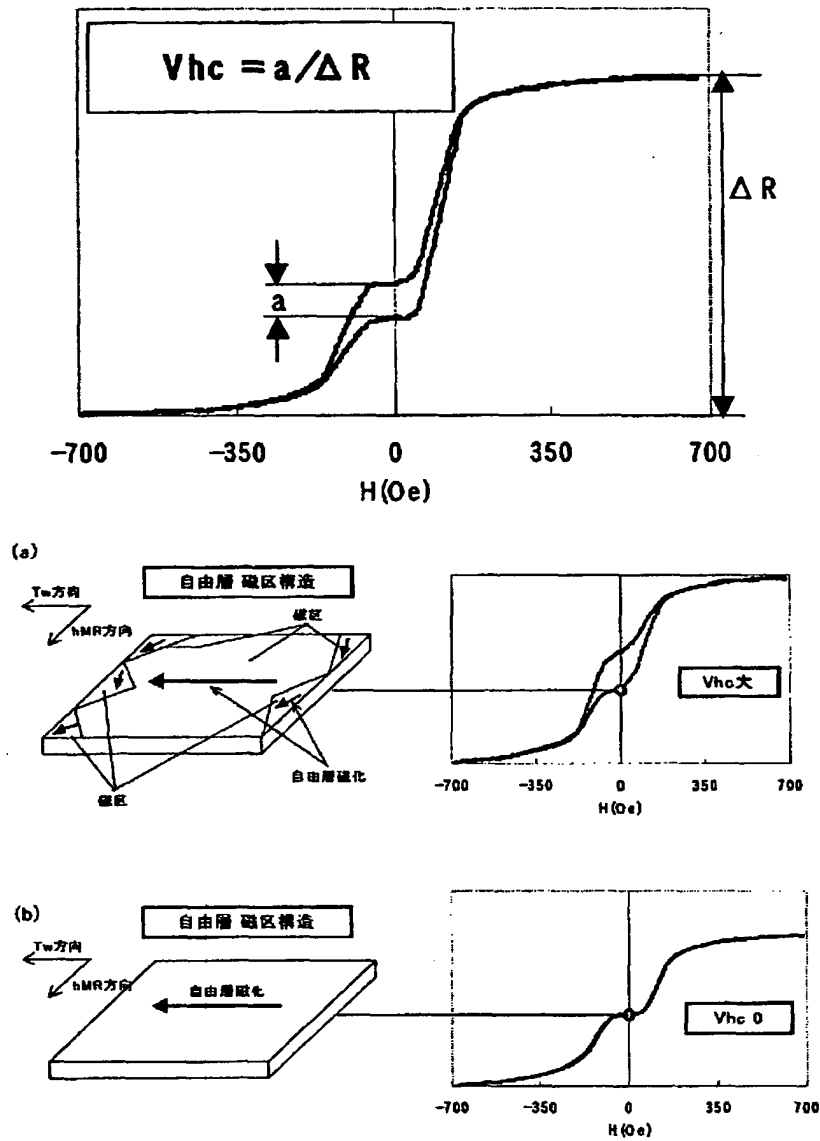
【図7】

図7



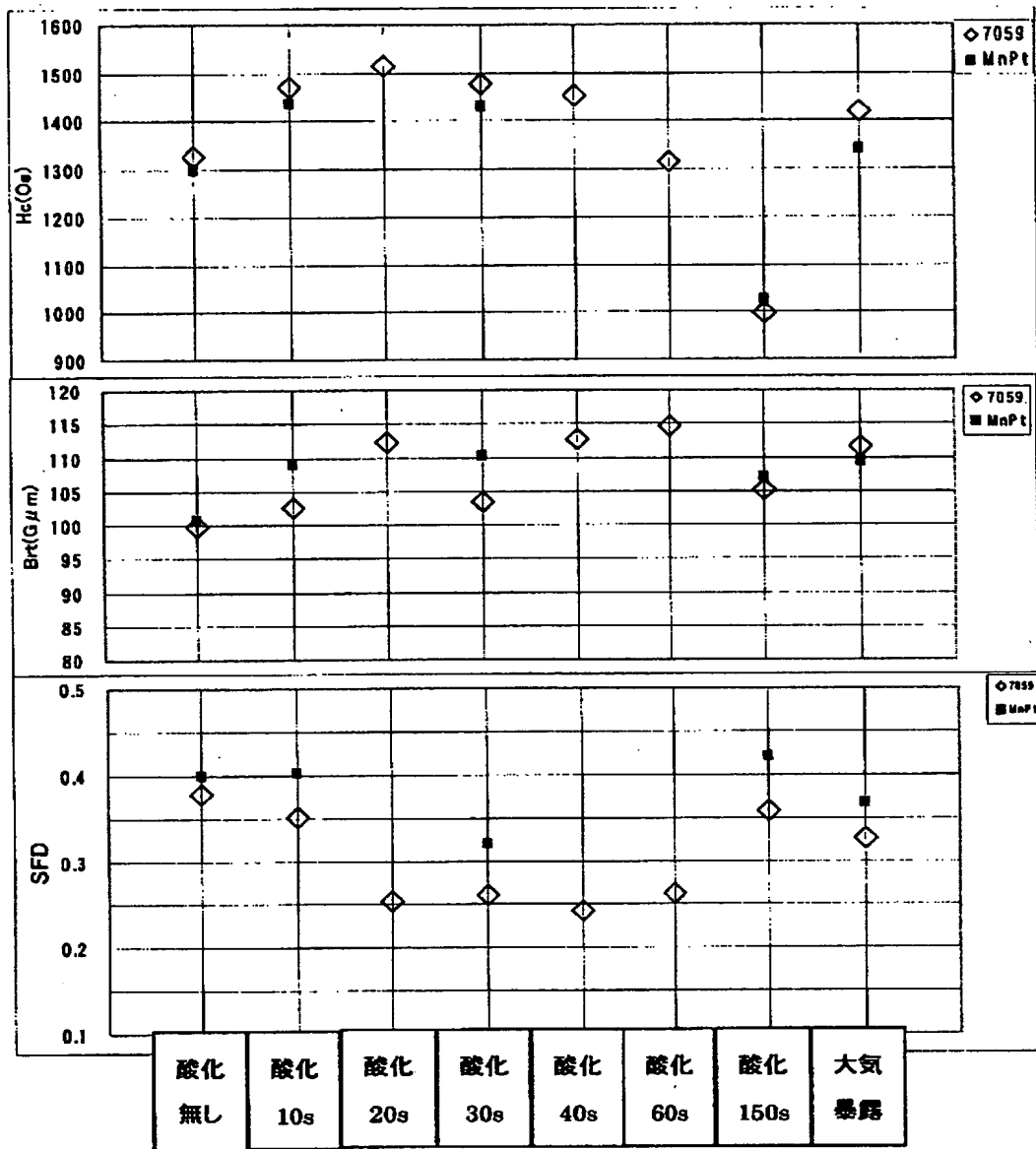
【図 8】

図8



【図 9】

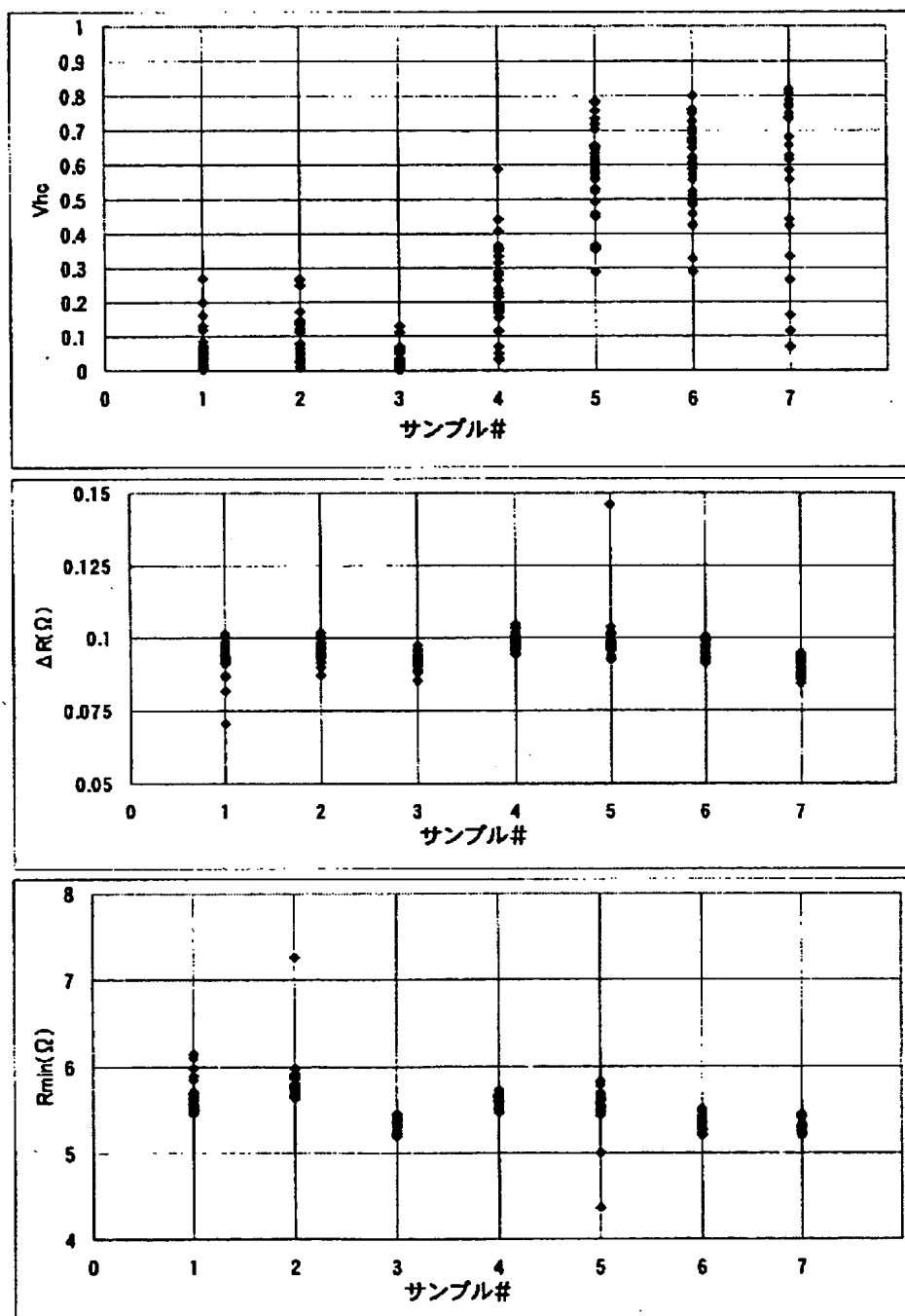
図 9





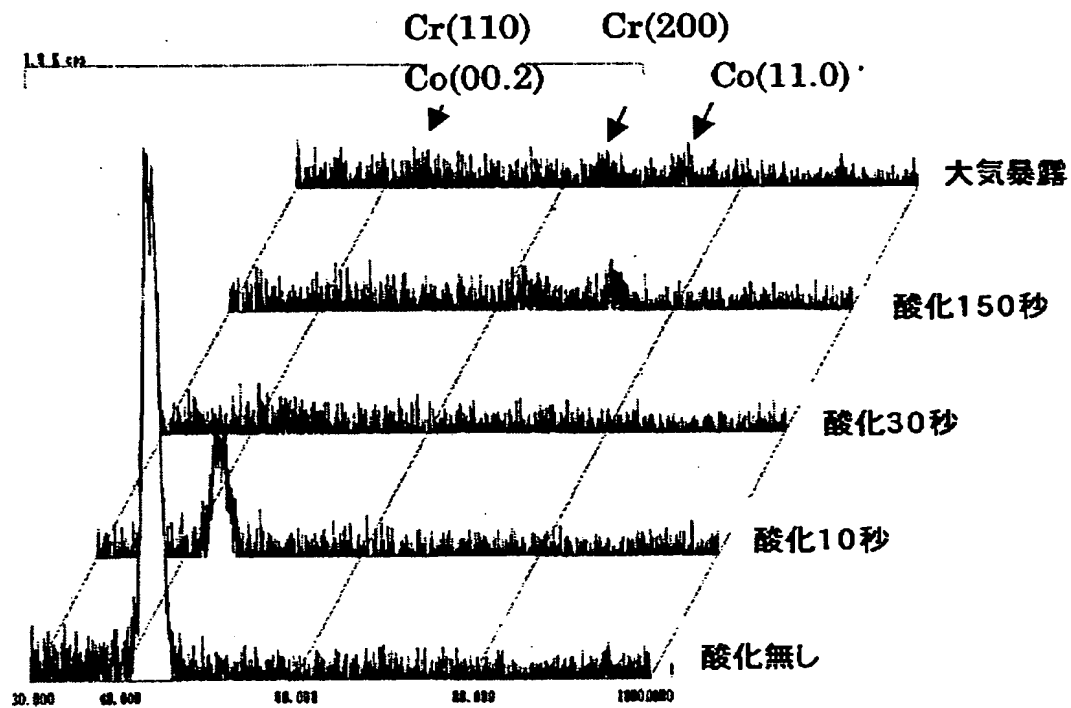
【図10】

図10



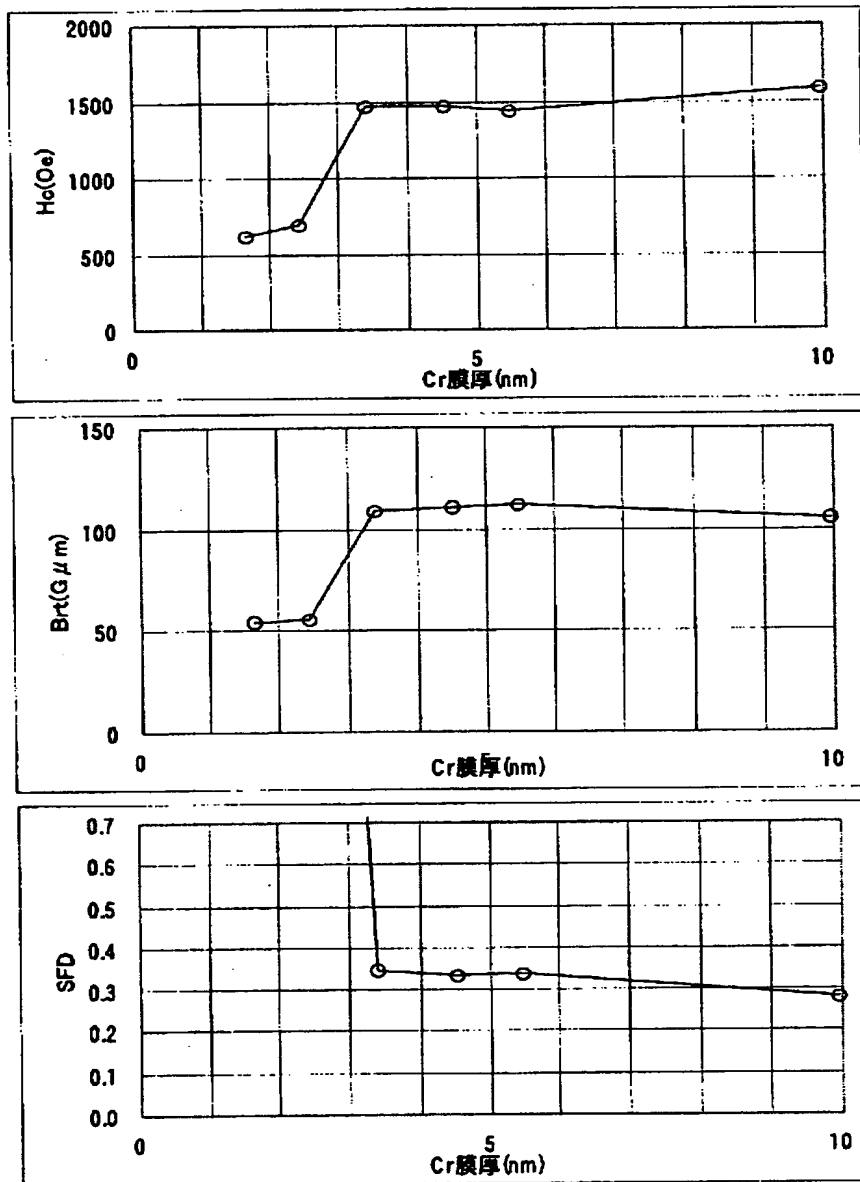
【図 1 1】

図 1 1



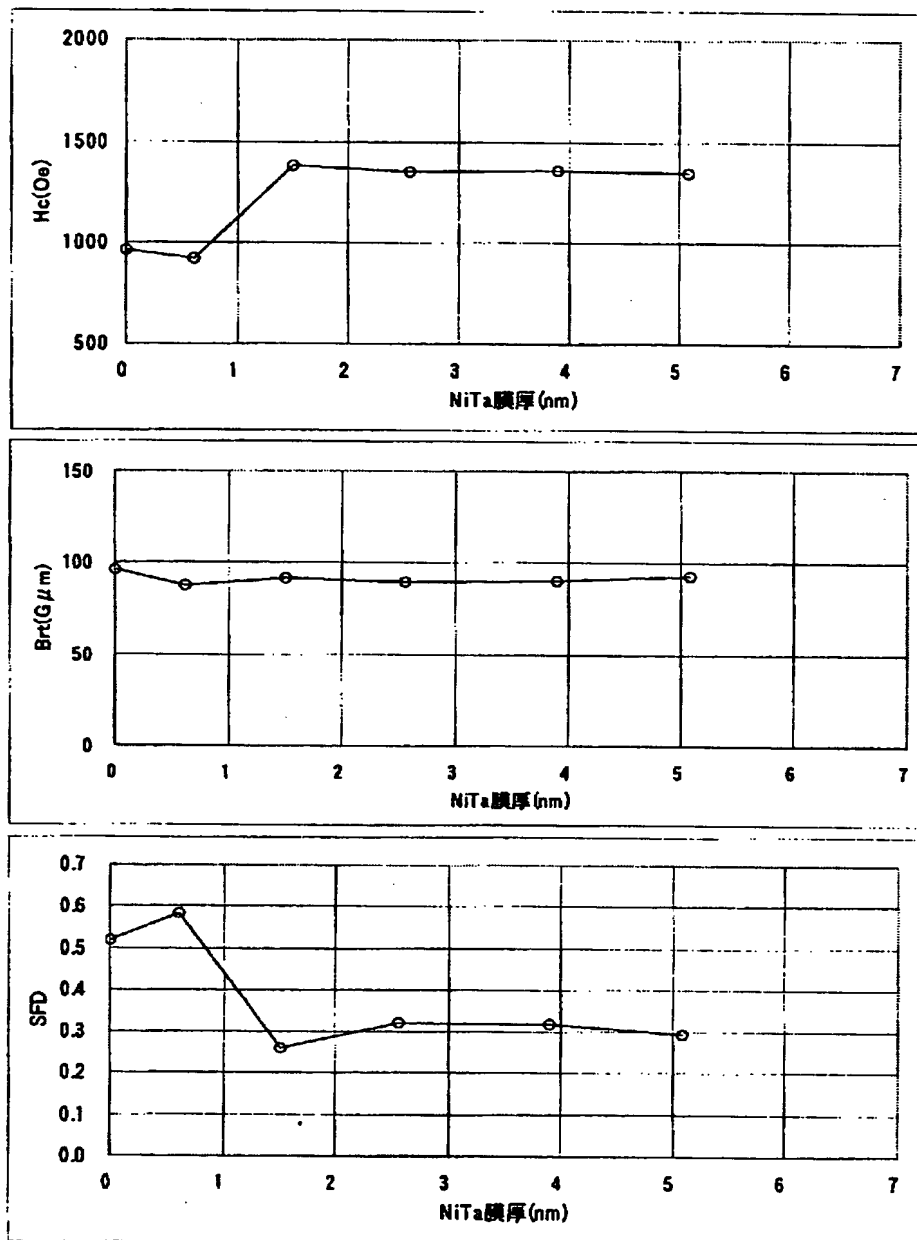
【図12】

図12



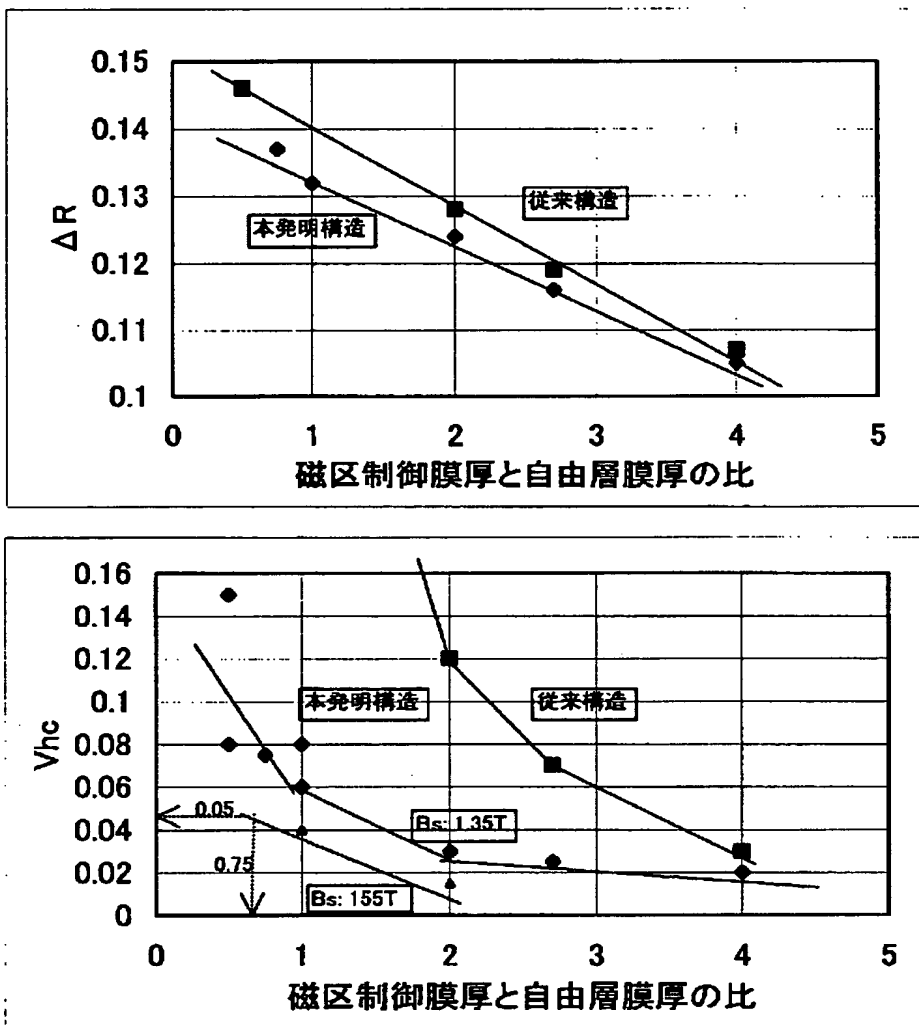
【図13】

図13



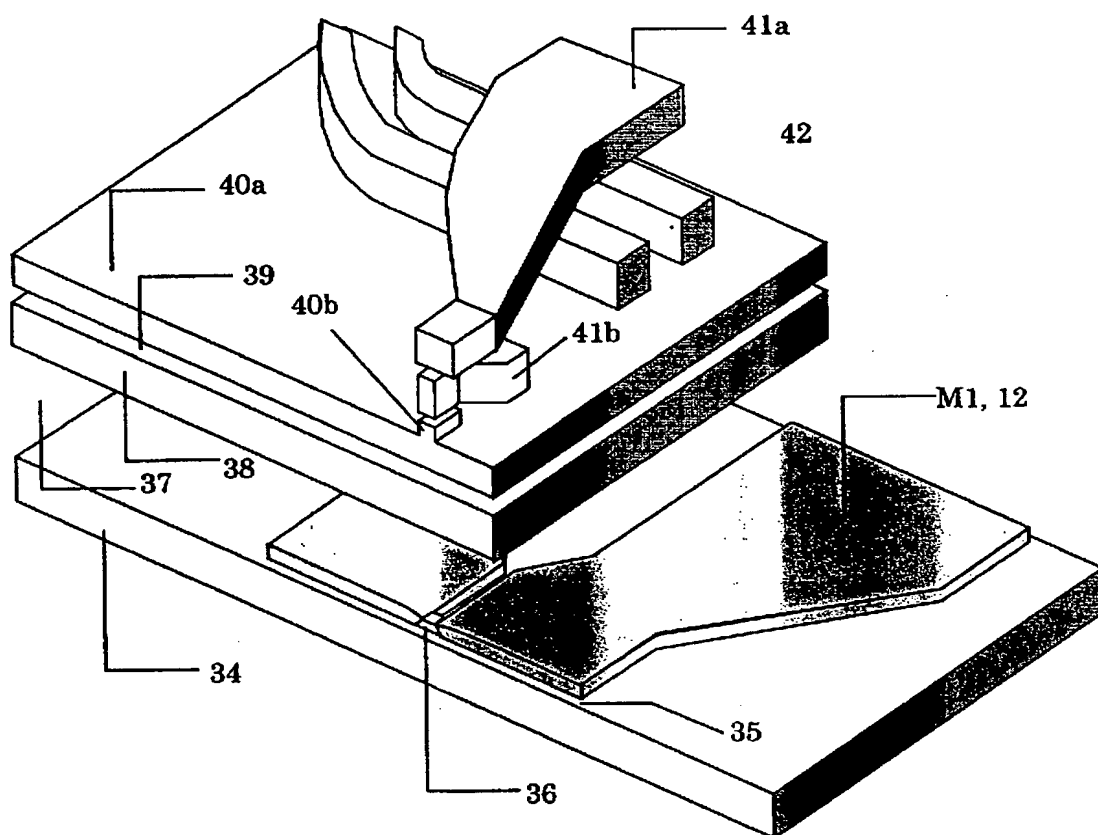
【図 1 4】

図 1 4



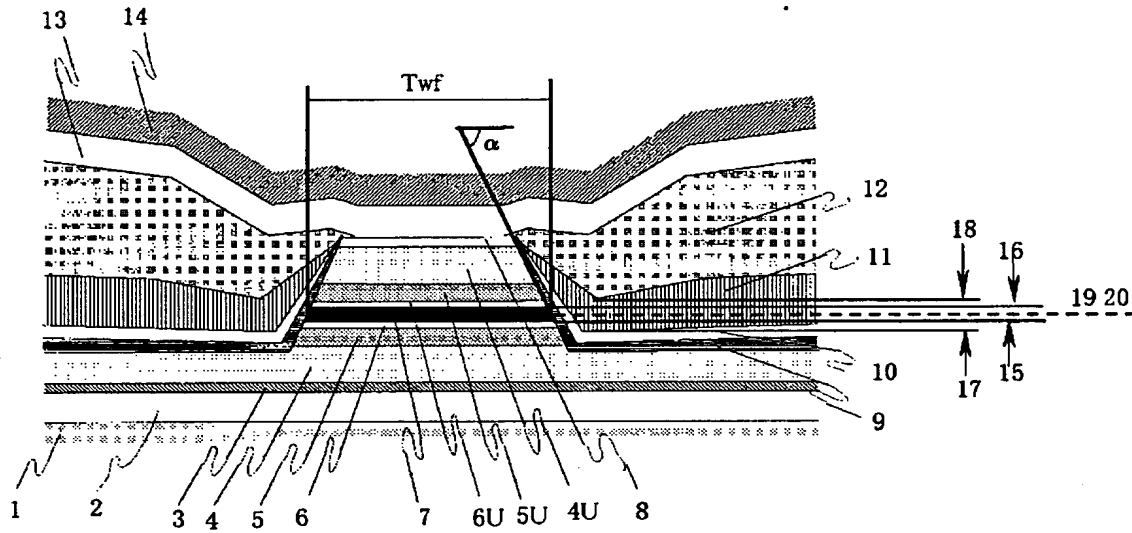
【図15】

図15



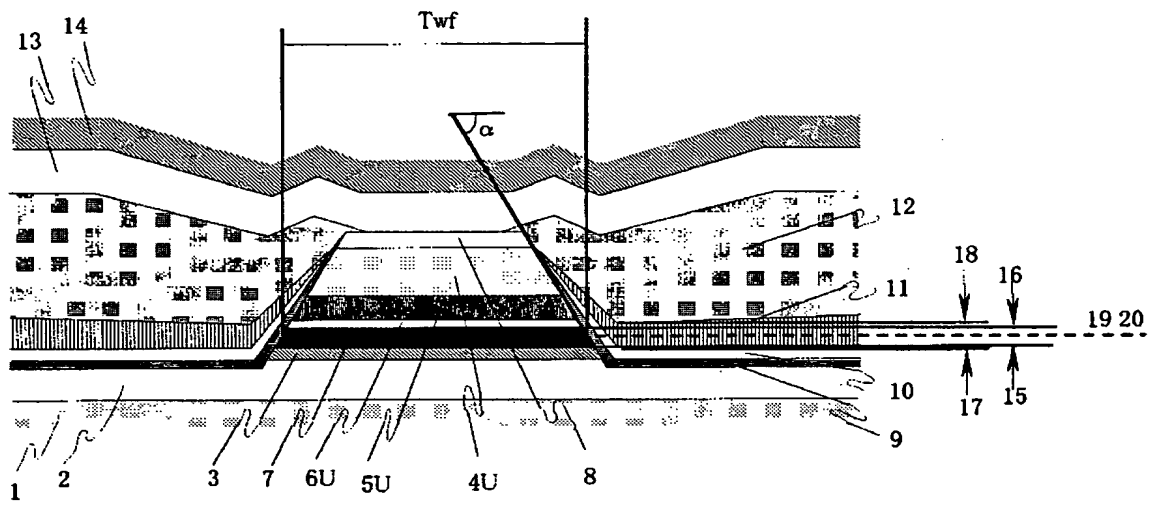
【図 16】

図 16



【図 17】

図 17





【書類名】 要約書

【要約】

【課題】

高記録密度化が進む中で、自由層幅寸法の狭小化が要求され、その寸法は200nmから100nmまたそれ以下と要求されているが、従来の磁区制御膜積層体の構造では、不感帯の問題が解消できない。

【解決手段】

本発明の磁気抵抗効果型ヘッドは、磁気抵抗効果積層体の自由層の端部に形成される磁区制御膜がCo合金膜で形成されており、かつその磁区制御膜の下部にCo合金膜の結晶状態を制御する下地膜と、その下地膜の結晶状態を制御するアモルファス金属膜層を設けてなる構成とする。

【選択図】 図 1

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2 0 0 2 - 2 7 8 3 2 6
受付番号	5 0 2 0 1 4 2 7 8 8 1
書類名	特許願
担当官	第八担当上席 0 0 9 7
作成日	平成 1 4 年 9 月 2 6 日

<認定情報・付加情報>  
【提出日】

平成14年 9月25日

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [ 0 0 0 0 0 5 1 0 8 ]

1. 変更年月日 1 9 9 0 年 8 月 3 1 日  
[変更理由] 新規登録  
住 所 東京都千代田区神田駿河台 4 丁目 6 番地  
氏 名 株式会社日立製作所